

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Филиал Белорусского национального технического университета,
г. Солигорск
Кафедра «Технологии и оборудование разработки месторождений полезных
ископаемых»

Конспект лекций по учебной дисциплине

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И РЕМОНТА ГОРНЫХ МАШИН

Содержит материалы для теоретического изучения дисциплины «Технология машиностроения и ремонта горных машин» в объеме, установленном учебным планом и учебной программой для специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям).

Авторы:

А.П. Дворник, к.т.н., доцент кафедры «Технологии и оборудование разработки месторождений полезных ископаемых» филиала БНТУ, г. Солигорск.

Е.В. Коднянко, инженер по научно-технической информации ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с опытным производством», г. Солигорск.

Минск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел I Введение	5
Глава 1.1 Предмет технологии машиностроения, его научное содержание, задачи и значение в подготовке горных инженеров.....	5
Раздел II. Технологические основы обеспечения качества изделия в машиностроении	13
Глава 2.1 Понятие о качестве изделий в машиностроении.....	13
Глава 2.2 Зависимость качества машин от технологии их производства.....	15
Раздел III. Точность изделий и способы ее обеспечения.....	34
Глава 3.1 Погрешности выполнения заготовок для механической обработки	34
Раздел IV. Понятие о качестве поверхностей деталей.	72
Глава 4.1 Шероховатость поверхностей деталей, физикомеханические свойства поверхностного слоя	72
Раздел V. Производственный и технологический процессы	78
Глава 5.1 Типы производства и их характеристики	78
Раздел VI. Проектирование технологических процессов обработки деталей машин.....	86
Глава 6.1 Разработка технологических операций	86
Раздел VII. Методы обработки поверхностей	99
Глава 7.1 Возможные методы первичной обработки деталей	99
Раздел VIII. Виды изнашивания деталей машин	140
Глава 8.1 Основные характеристики и закономерности изнашивания деталей машин.....	140
Раздел IX. Построение технологических процессов сборки	165

Раздел I Введение

Технология машиностроения – наука, занимающаяся изучением закономерностей процессов изготовления машин с целью использования этих закономерностей для обеспечения выпуска машин заданного качества, в установленном производственной программой количестве и при наименьших затратах. Слово «технология» происходит от двух греческих слов «технос» – ремесло и «логос» – наука и в переводе означает наука о производстве.

К технологии машиностроения относятся следующие области производства: технология литья, технология обработки давлением, технология сварки, технология механической и физико-химической обработки, технология сборки машин, т.е. технология машиностроения охватывает все этапы процесса изготовления машиностроительной продукции.

Кроме того, под технологией машиностроения понимают научную дисциплину, изучающую преимущественно процессы механической обработки заготовок и сборки машин, затрагивают также вопросы выбора заготовок и методы их изготовления. Это объясняется тем, что в машиностроении заданные размеры и формы деталей с требуемой точностью и качеством их поверхностей достигаются в основном механической обработкой.

Поэтому технологию машиностроения можно считать комплексной инженерной и научной дисциплиной, тесно связанной с другими учебными дисциплинами, изучаемыми в технических университетах. Так, особенно важна связь технологии машиностроения с такими дисциплинами, как резание металлов, режущие инструменты, металлорежущие станки, конструирование приспособлений, проектирование машиностроительных цехов и заводов, взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения, технология конструкционных материалов, автоматизация и механизация технологических процессов и другими.

Глава 1.1 Предмет технологии машиностроения, его научное содержание, задачи и значение в подготовке горных инженеров

Современные направления развития технологии машиностроения по оптимизации режимов и процессов обработки, автоматизации серийного производства и управления технологическими процессами, применению технологических методов повышения эксплуатационных свойств изготавливаемых изделий в значительной мере основываются на достижениях математических наук, электронной вычислительной и управляющей техники, кибернетики, робототехники, металлографии и других современных теоретических и технических наук.

Основная задача при изучении курса – ознакомление с методами

получения заготовок, расчета параметров технологических процессов механической обработки, изучение характерных для горных машин видов изнашивания деталей, методов их восстановления и упрочнения.

В процессе освоения дисциплины «Технология машиностроения и ремонта горных машин» студент изучает:

- основные технологические методы обеспечения качества изделий в машиностроении;
- способы обеспечения точности изделий в машиностроении;
- виды износов, повреждений, методы восстановления и упрочнения деталей горных машин и оборудования.

Приобретает навыки по:

- применению оборудования и средств для изготовления и восстановления деталей;
- проектированию технологических процессов изготовления и ремонта деталей горных машин;
- выбору методов восстановления деталей горных машин.
- проектированию технологических процессов сборки горных машин.

Основные этапы развития технологии машиностроения и ремонтных работ

Первый этап, совпадающий с завершением периода восстановления и началом реконструкции промышленности страны (до 1929-1930), характеризуется накоплением отечественного и зарубежного производственного опыта изготовления машин.

Второй этап относится к периоду первых пятилеток до начала отечественной войны (1930-1941) и определяется продолжением накопления производственного опыта с проведением его обобщения и систематизации и началом разработки общих научных принципов построения технологических процессов.

На этом этапе разрабатываются принципы типизации технологических процессов и осуществляется их практическое внедрение; начинается разработка теории базирования заготовок при их обработке, измерении и сборке, создаются методы расчета припусков на обработку, начинаются работы по изучению жесткости технологической системы. В то же время начинается разработка расчетно-аналитического метода определения первичных погрешностей обработки заготовок и методов исследования точности обработки на станках с применением методов математической статистики и теории вероятностей.

Третий этап, охватывающий годы войны и послевоенного развития (1941-1970), отличается исключительно интенсивным развитием технологии машиностроения, разработкой новых технологических идей и формированием научных основ технологической науки.

В эти годы формируется современная теория точности обработки заготовок и подробно разрабатывается расчетно-аналитический метод

определения первичных погрешностей обработки и их суммирования, развиваются и широко используются методы математической статистики и теории вероятностей для анализа точности процессов механической обработки и сборки, работы оборудования и инструмента. Развертываются работы по изучению влияния динамики технологической системы на точность механической обработки, шероховатость и волнистость обработанных поверхностей.

Четвертый этап – с 1970 г. по настоящее время. Отличительной особенностью современного этапа развития технологии машиностроения является широкое использование достижений фундаментальных и общинженерных наук для решения теоретических проблем и практических задач технологии машиностроения. Распространяются применение вычислительной техники при проектировании технологических процессов и математическое моделирование процессов механической обработки. Осуществляется автоматизация программирования процессов обработки на широко распространяющихся станках с ЧПУ. Создаются системы автоматизированного проектирования технологических процессов.



Рисунок 1.1 – Структура объема промышленного производства в 2020 году

Особенности эксплуатации горношахтного оборудования в калийной промышленности

Горные машины предназначены для отделения полезного ископаемого от массива, доставки его и транспортирования, закрепления вновь образованного пространства, проведения выработок различного назначения и для закладки.

Классификация горных машин по способу отделения от массива:

1. Механический (в основе лежит резание или удар).
2. Гидравлический способ.
3. Физические способы (лазерное, тепловое, СВЧ воздействия).
4. Комбинированный способ (механо-гидравлический).

Классификация горных машин по условиям работы:

1. Горные машины для шахт (разработка пластовых месторождений).
2. Горные машины для рудников и разработки рудных месторождений.
3. Горные машины для открытых работ.

Все горные машины обладают свойствами:

- испытывают высокодинамическую, случайную, нестационарную нагрузку;
- имеют общие методы расчета нагрузок, ресурса и производительности;
- переменность передаточной функции привода машин;
- имеют общую структурную схему, включающую: исполнительный орган, который формирует нагрузку машины; редуктор исполнительного органа; двигатель; привод подачи, обеспечивающий внедрение исполнительного органа в породу; механизм перемещения машины (может быть совмещен с приводом подачи); механизм погрузки или экскавации разрушаемой породы от забоя (может быть совмещен с исполнительным органом).

Значительная влажность рудничной атмосферы и агрессивность шахтных вод приводят к значительному ускорению коррозии, резко уменьшающей срок службы горных машин.

Большая запыленность рудничной атмосферы, проникающей внутрь машин, резко снижает долговечность трущихся пар (шестерен, подшипников и др.) и заставляет, помимо борьбы с пылеобразованием, надежно защищать элементы горных машин от попадания пыли и грязи.

Высокие абразивность и твердость руды и породы приводят к быстрому износу элементов горных машин, что требует выполнения их из особо прочных и износостойких материалов, заставляет изыскивать специальные схемы работы элементов исполнительных органов и предусматривать возможность быстрой замены деталей, подверженных особо быстрому износу.

Тяжелые, резко усложняющиеся условия работы горных машин с внезапными перегрузками, возникающими от обрушения горной массы, попадания крупных кусков, а иногда и заклинивания исполнительного органа твердыми включениями, приводят к необходимости проектировать детали горных машин с достаточными запасами прочности, а приводы их оборудовать специальными предохранительными муфтами.

Оборудование калийных рудников Старобинского и Петриковского месторождений Республики Беларусь

Комбайн КРП-3-660/1140 (рисунок 1.2) предназначен для проведения горных выработок арочной формы сечением 8 м² с углом наклона $\pm 15^\circ$ по соляным породам с сопротивляемостью резанию до 450 Н/мм, а также для добычи. Комбайн осуществляет отбойку горной массы, выгрузку ее из забоя и погрузку в транспортное средство, устанавливаемое за комбайном.



Рисунок 1.2 – Комбайн КРП-3-660/1140

Проходческо-очистной комбайн КПО-8,5 (рисунок 1.3) предназначен для ведения подготовительных работ: проходки горных выработок, разделки камер, а также выемки руды камерной системой.

В процессе работы комбайн производит разрушение забоя, уборку из забоя отбитой горной массы, погрузку ее в бункер-перегрузатель или самоходный вагон, кроме того, с комбайна производится бурение шпуров.



Рисунок 1.3 – Проходческо-очистной комбайн КПО-8,5

Комбайн КИД-220 (рисунок 1.4) предназначен для механизации процессов отбойки и погрузки горной массы при проведении и ремонте (ранее пройденных) горизонтальных и наклонных выработок арочной, трапециевидной и прямоугольной форм сечением от 7,5 м² до 27 м² в проходке с углом наклона $\pm 15^\circ$, а также разделки в выработках сбоек, камер и ниш.



Рисунок 1.4 – Комбайн КИД-220

Машина врубовая баровая МВБ-140Э (рисунок 1.5) предназначена для нарезки щелей под любым углом по периметру горизонтальных и наклонных до $\pm 15^\circ$ горных выработок. Отличительной особенностью серии МВБ-140Э от МВБ-140 является наличие кабельного барабана емкостью 150 м и дизельной установки для передвижения машины с маневровой скоростью. Нарезка щели происходит при подключении электрооборудования и дальнейшего движения на кабеле с выбранной рабочей скоростью.



Рисунок 1.5 – Машина врубовая баровая МВБ-140Э

Машина возведения винтовой анкерной крепи предназначена для механизации возведения винтовой анкерной крепи в подземных горных выработках в рудниках опасных по газу метан. Передвижение к месту проведения работ, как и выполнение работ по креплению (бурению) осуществляется как в автономном режиме (от дизельного привода) так и с питанием от шахтной сети (от электропривода в пределах длины питающего кабеля). Использование машины от дизельного привода допускается только в горных выработках, проветривание которых осуществляется за счет общешахтной депрессии.

Конвейеры СПЗ-1-228 (рисунок 1.6) предназначены для транспортирования руды из очистных забоев и перемещения по ним выемочных комбайнов.

Конвейеры входят в состав механизированных комплексов и обеспечивают транспортировку из забоя лавы отбитой комбайном руды и перегрузку её на

штрековый конвейер; погрузку руды с почвы лавы в процессе передвижки конвейера; перемещение очистного комбайна вдоль забоя (по «подборщикам» с забойной стороны и реек бесцепной системы подачи комбайнов «Айкотрак» с завальной стороны); возможность присоединения секций механизированной крепи, передвижку их и самого конвейера.

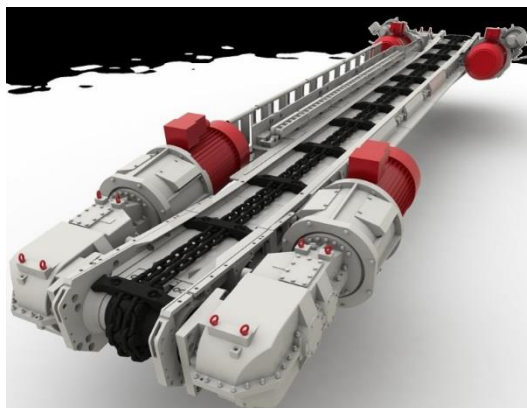


Рисунок 1.6 – Конвейеры СПЗ-1-228

Крепь механизированная (рисунок 1.7) предназначена для использования в составе добычных комплексов, применяемых для добычи пластовых месторождений полезных ископаемых.

Крепь применяется для поддержания и управления кровлей в горизонтальных и наклонных очистных выработках, разрабатываемых длинными очистными забоями, с вынимаемой мощностью пласта 0,75-3,0 м, способ управления кровлей – с полным обрушением, с частичной или полной закладкой выработанного пространства.

Крепи изготовлены в климатическом исполнении У категории размещения 5 по ГОСТ 15150.



Рисунок 1.7 – Крепь механизированная

Очистные комбайны (рисунок 1.8). SL-300N/480, SL-300S, SL-300E, SL-500, SL-300S с частотным регулированием электропривода и новым программным обеспечением с унифицированными узлами.



Рисунок 1.8 – Очистной комбайн

Подъёмные машины (рисунок 1.9) предназначены для шахтных стволовых подъёмных установок. Для уменьшения износа подшипников коренного вала и приводного электродвигателя обеспечена гидростатическая смазка.

Каждая из стоек имеет свою независимую промежуточную раму, посредством которой они крепятся к фундаменту. Тормозные приводы взаимодействуют с тормозными дисками намоточных барабанов машины.



Рисунок 1.9 – Подъемные машины

Направления дальнейшего развития дисциплины в Республике Беларусь

Машиностроению отводится в техническом перевооружении ведущая роль. Чтобы выполнить эту задачу, отрасль должна увеличить масштабы выпуска нового оборудования. Только в этом случае возможно обновить материально техническую базу, основные средства, обеспечить техническое перевооружение и рост производственного потенциала.

Совершенствование современного машиностроительного производства тесно связано с развитием технологии как науки. Велика роль технологии в интенсификации производства, повышении его рентабельности, улучшении качества выпускаемой продукции. Развитие и внедрение прогрессивных технологий характеризуется быстрой окупаемостью.

Можно выделить следующие направления развития технологии на современном этапе:

1. Разработка научных основ технологии машиностроения (ТМ).
2. Разработка теории и методик построения высокопроизводительных операций и процессов обработки и сборки.
3. Разработка и внедрение методов малоотходной, мало-энергоёмкой и упрочняющей технологии.
4. Технологическое обеспечение надежности изделий.
5. Повышение уровня технологичности конструкции изделия.
6. Автоматизация и механизация механосборочного производства (использование промышленных роботов, роторных и конвейерных линий, станков с ЧПУ и т.д.).
7. Разработка методов типизации ТП, групповой обработки и сборки.
8. Совершенствование технологической оснастки, автоматизация сборки.
9. Применение методов автоматизированного проектирования технологических процессов обработки и сборки.

Раздел II. Технологические основы обеспечения качества изделия в машиностроении

Глава 2.1 Понятие о качестве изделий в машиностроении

Качество продукции относится к числу важнейших показателей деятельности машиностроительных предприятий. Повышение качества продукции в значительной мере определяет выживаемость предприятия в условиях рынка, темпы технического прогресса, внедрения инноваций, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых на предприятии.

Качество – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Качество продукции количественно определяется по следующим трем уровням: техническому уровню; изготовления продукции; эксплуатации или потребления.

Под техническим уровнем продукции понимают относительную характеристику ее качества, основанную на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции с соответствующими базовыми значениями.

Под уровнем качества изготовления продукции подразумевают степень соответствия фактических значений показателей качества нового изготовленного изделия требованиям нормативно-технической документации (техническим условиям на изготовление изделия).

Под уровнем качества продукции в эксплуатации или потреблении понимают степень соответствия фактических значений показателей качества

требованиям нормативно-технической документации (ТУ) и период эксплуатации или потребления.

Комплексные показатели служат для комплексной оценки качества машины только по нескольким важнейшим ее свойствам и применяются при технико-экономическом планировании.

Показатели качества машин: эксплуатационные, производственно-технологические и экономические

В соответствии с ГОСТ-1546 используются определенные группы единичных показателей качества продукции, важнейшими из которых являются:

- показатели назначения – характеризуют параметры продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения; классификационные (напряжение и мощность электроприбора); функциональные (точность, пределы измерения, дальность действия прибора); конструктивные (масса, габаритные размеры изделия); эксплуатационные (расход топлива, максимальная скорость автомашины); состава и структуры (концентрация, содержание примесей) для потребительских товаров массового спроса – социальная адресность (для молодежи, пенсионеров);

- показатели надежности – характеризуют свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. Надежность – комплексное качество, характеризуемое следующими составляющими свойствами: безотказность (средняя наработка до первого отказа, вероятность безотказной работы в течение определенного срока), долговечность (средний ресурс, средний срок службы до капремонта, средний срок службы до списания);

- показатели безопасности – характеризуют свойства изделия, гарантирующие безопасность человека и других объектов при его эксплуатации, обслуживании, транспортировании и хранении: вероятность;

- эргономические показатели – характеризуют приспособленность изделия к эксплуатации: гигиенические (освещенность, температура, влажность), антропометрические (соответствие конструкции размерам тела человека), психофизиологические (соответствие силовым, скоростным, зрительным, слуховым и прочим возможностям человека);

- эстетические показатели – характеризуют художественную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, соответствие моде и т.д.;

- показатели транспортабельности – характеризуют пригодность продукции к транспортным операциям: средняя продолжительность подготовки к транспортировке, средняя продолжительность установки продукции на средство транспортирования определенного вида, средняя трудоемкость

подготовки к транспортировке, коэффициент использования объема транспортного средства, средняя продолжительность разгрузки продукции;

- экологические показатели – характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении продукции: количество вредных примесей, выбрасываемых в окружающую среду: вероятность выбросов вредных частиц, газов, излучений и т. п.;

- показатели стойкости к внешним воздействиям: пылезащищенность, влагозащищенность, водонепроницаемость, ударопрочность, вибропрочность, устойчивость к воздействию внешнего магнитного поля и т. п.;

- экономические – капиталовложения в производство, себестоимость изготовления машины и единицы продукции, которые в большой степени зависят от технологии изготовления.

Различают единичные и комплексные показатели. Применяют также интегральный показатель уровня качества – относительную характеристику, основанную на сравнении показателей качества данного изделия с соответствующими показателями лучших отечественных и зарубежных образцов.

Глава 2.2 Зависимость качества машин от технологии их производства

Точность изделий и способы ее обеспечения в производстве

Точность в машиностроении – понятие комплексное. Оно характеризует не только геометрические параметры машин, но и единообразие свойств изготавливаемых изделий (упругих, динамических, магнитных, электрических и др.).

Понятие геометрической точности включает в себя следующие параметры:

- точность размеров;
- точность формы поверхностей;
- точность относительного расположения поверхностей;
- шероховатость поверхностей;
- волнистость;
- физико-механические свойства поверхностного слоя.

Точность детали характеризуют следующими параметрами:

а) **точностью размеров** (это допускаемые отклонения действительных размеров от номинальных). Показатель точности (это квалитет), принято 20 квалитетов IT01... IT18) согласно ГОСТ 25346, чем больше квалитет, тем больше допуск;

б) **точность поворота** (взаимного положения) одной поверхности относительно другой, выбранной за базу;

в) **точность геометрических форм** поверхностей детали, правильность геометрических форм.

Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских соединений

В основу построения Единой системы допусков и посадок положены четыре принципа:

1. Установлена нормальная температура измерения $+20^{\circ}\text{C}$.
2. Установлено 16 квалитетов точности и определены формулы для расчёта допусков.
3. Установлено 27 основных отклонений валов и 27 основных отклонений отверстий.
4. Предусмотрены системы образования посадок: посадки в системе отверстия и в системе вала.

Рассмотрим подробно указанные основополагающие принципы построения Единой системы допусков и посадок.

ГОСТ 25346-89 устанавливает три вида элементов деталей:

- валы;
- отверстия;
- элементы деталей, не относящиеся к валам и отверстиям.

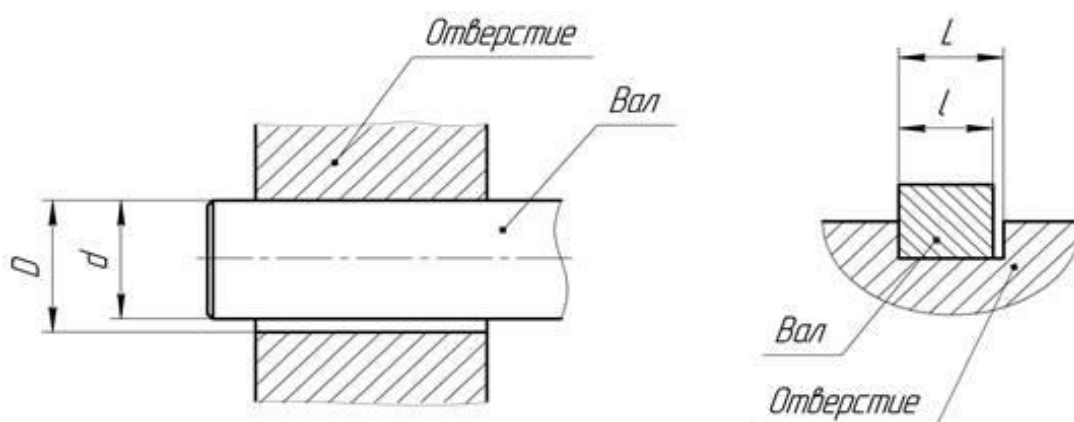
В соединении деталей различают охватывающую и охватываемую поверхности (элементы), которые условно называются отверстием и валом. Это относится и к несопрягаемым деталям и элементам.

Вал – термин, применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов деталей.

Отверстие – термин, применяемый для обозначения внутренних (охватывающих) элементов детали.

Элементами деталей, не относящимся к валам и отверстиям, являются глубины отверстий, уступы, высоты выступов, радиусы закруглений, расстояния между осями и т.д.

Термины «отверстие» и «вал» относятся к элементам деталей любой геометрической формы (не только цилиндрической), например, к элементам с двумя параллельными плоскостями (рисунок 2.1).



d и l – размеры валов, D и L – размеры отверстий

Рисунок 2.1 – Элементы деталей

В машиностроении единица измерения – мм.

Различают следующие виды размеров:

- действительные;
- предельные;
- номинальные.

Действительный размер – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Для ограничения значений действительного размера устанавливаются предельные размеры.

Деталь считается годной, если её действительный размер не выходит за границы предельных размеров. Таким образом, **предельные размеры** определяют точность размера. В подавляющем большинстве случаев точность размера удобнее задавать не предельными размерами, а с помощью отклонений от номинального размера.

Номинальный размер (D, d) – размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчёта отклонений.

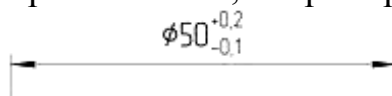
Номинальный размер соединения является общим (одинаковым) для отверстия и вала, составляющих это соединение.

Различают действительное и предельные отклонения.

Действительное отклонение – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Предельное отклонение – алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Поскольку предельных размеров два, существуют и два предельных отклонения:

- верхнее;
- нижнее.
- при простановке размера над размерной линией отклонения проставляются также над размерной линией, например:



- верхнее отклонение записывается над нижним (верхнее несколько выше номинального размера, нижнее – ниже его) наименьшим числом знаков, одинаковым для обоих отклонений: $\phi 50^{+0.15}_{-0.20}$; $\phi 150^{+0.250}_{+0.185}$; $\phi 100^{-0.10}_{-0.25}$;

- отклонение, равное нулю, не указывается: $\phi 40^{+0.2}$; $\phi 20_{-0.1}$;

- при равенстве абсолютных величин отклонений их величина записывается со знаком $\pm$ рядом с номинальным размером и одинаковым с ним шрифтом, например: $\phi 50 \pm 0.25$.

Допуск является мерой точности размера. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность. Изготовить деталь абсолютно точно (идеальную) невозможно, поэтому допуск не может быть равен нулю, тем более он не может быть отрицательной величиной. Поскольку допуск всегда положительный, знак «плюс» около него не проставляется, то есть он берётся по абсолютной величине, что соответствует определению.

Рассмотренные выше понятия о размерах, отклонениях и допусках можно наглядно представить на графическом изображении соединения (рисунок 2.2).

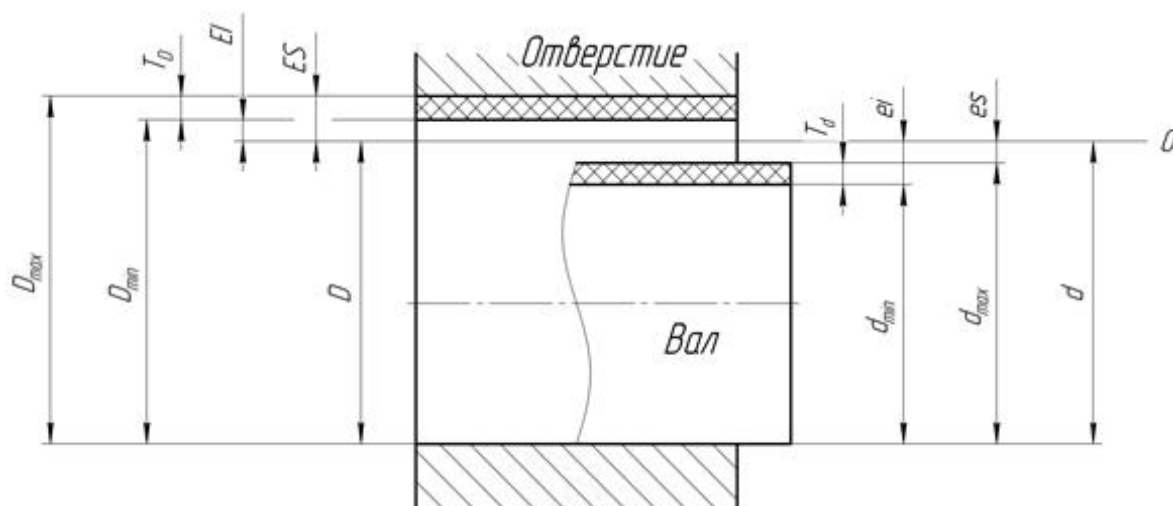


Рисунок 2.2 – Графическое изображение соединения

Но такое изображение довольно громоздко. Понятия о номинальном размере и предельных отклонениях позволяют упростить графическое изображение соединения и представить его в виде схемы расположения полей допусков деталей (рисунок 2.3) с указанием предельных отклонений относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру соединения.

На схемах в условном масштабе откладываются предельные отклонения относительно нулевой линии. Отклонения указываются в микрометрах (мкм), то есть так, как они заданы в стандартах и справочниках.

Системой допусков и посадок называется совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе производственного опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов ЕСДП.

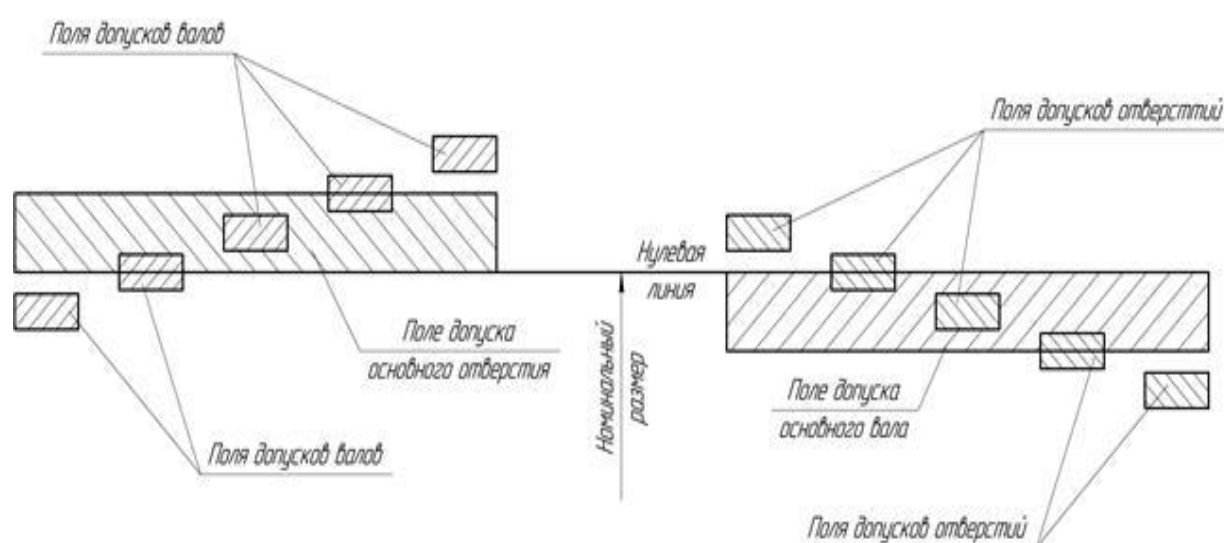


Рисунок 2.3 – Поля допусков деталей

Система отверстия – совокупность посадок, в которой для данного номинального размера и заданной точности предельные размеры отверстия

остаются постоянными, а различные посадки образуются за счёт изменения предельных размеров вала. Таким образом, основой системы отверстия является отверстие. Его называют основным отверстием.

Система вала – совокупность посадок, в которой для данного номинального размера и заданной точности предельные размеры вала остаются постоянными, а различные посадки образуются за счёт изменения предельных размеров отверстия. Основой системы вала является вал. Его называют основным валом.

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю. Пример основного отверстия: $\phi 50^{+0,3}_0$.

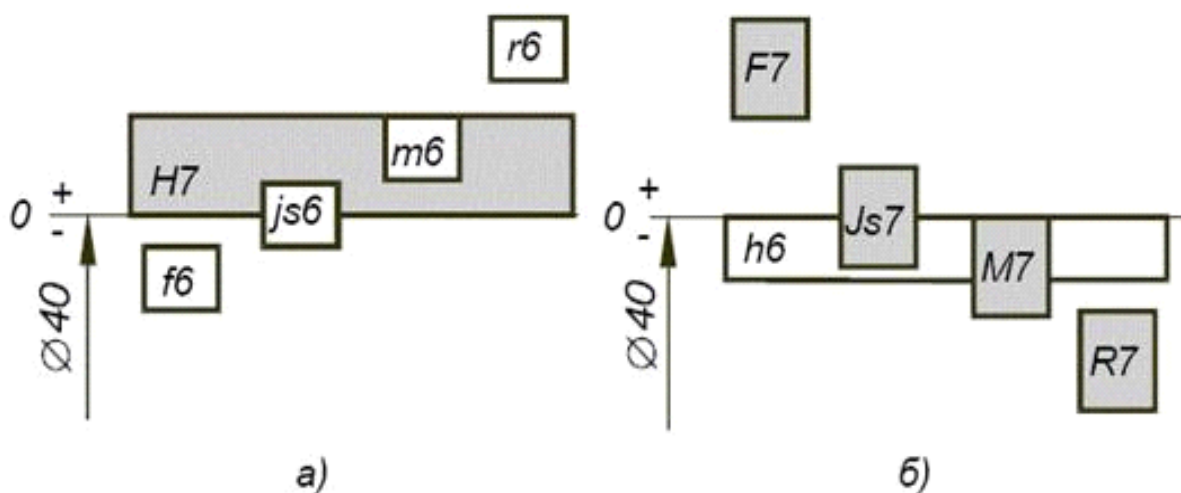
Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю. Пример основного вала: $\phi 30^{+0,02}_0$.

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия).

Посадки в системе вала – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала).

Наиболее распространённой и предпочтительной является система отверстия, так как она экономичнее системы вала.

Графическая иллюстрация некоторых посадок в системе отверстия и в системе вала показана на рисунке 2.4.



а) система отверстия; б) система вала

Рисунок 2.4 – Примеры посадок

Квалитет – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров.

Применение квалитетов:

– 01, 0, 1 – для размеров плоскопараллельных концевых мер длины (образцовых мер длины);

- 2, 3, 4 – для размеров калибров и особо точных изделий;
- 4...12 – для размеров сопрягаемых поверхностей, т.е. для образования посадок;
- 12...16 – для размеров с неуказанными допусками, для неответственных несопрягаемых поверхностей.

Всего установлено по 27 различных валов и отверстий.

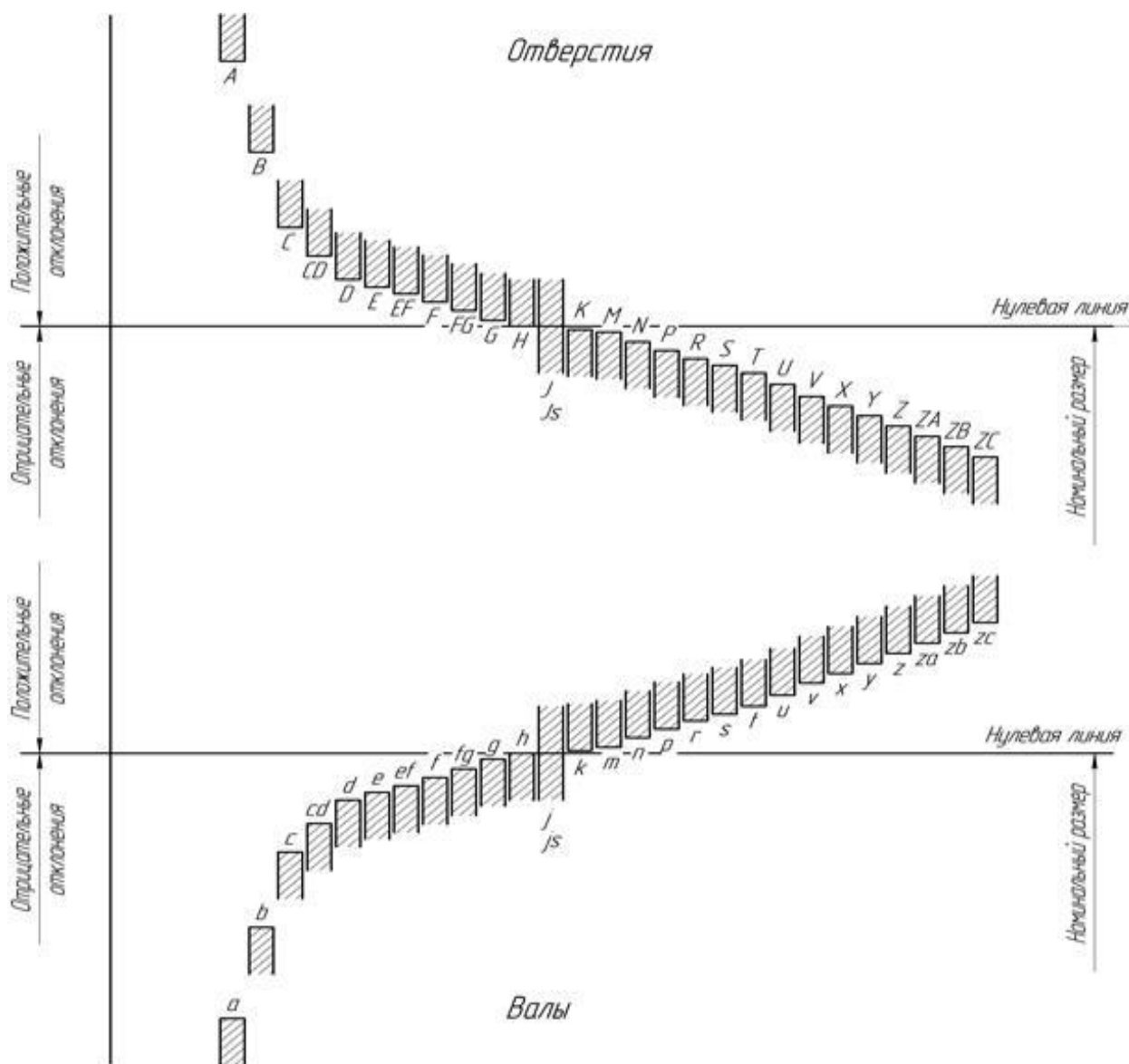


Рисунок 2.5 – Основные отклонения валов и отверстий

Применение системы отверстия предпочтительно.

Существует три способа обозначения полей допусков, равно как и предельных отклонений размеров, на чертежах:

- условное обозначение (например, $\phi 18H7$, $12e8$);
- числовое обозначение (например, $\phi 18^{+0,018}_{-0,032}$, $12^{+0,059}_{-0,032}$);
- смешанное обозначение (например, $\phi 18H7^{(+0,018)}$, $12e8^{(-0,032)}$).

Основные отклонения отверстий указываются прописными буквами латинского алфавита, основные отклонения валов – строчными. Поле допуска

основного отверстия обозначается с буквой **H**, основного вала – с буквой **h**, например: $\phi 40H7$, $\phi 50h6$.

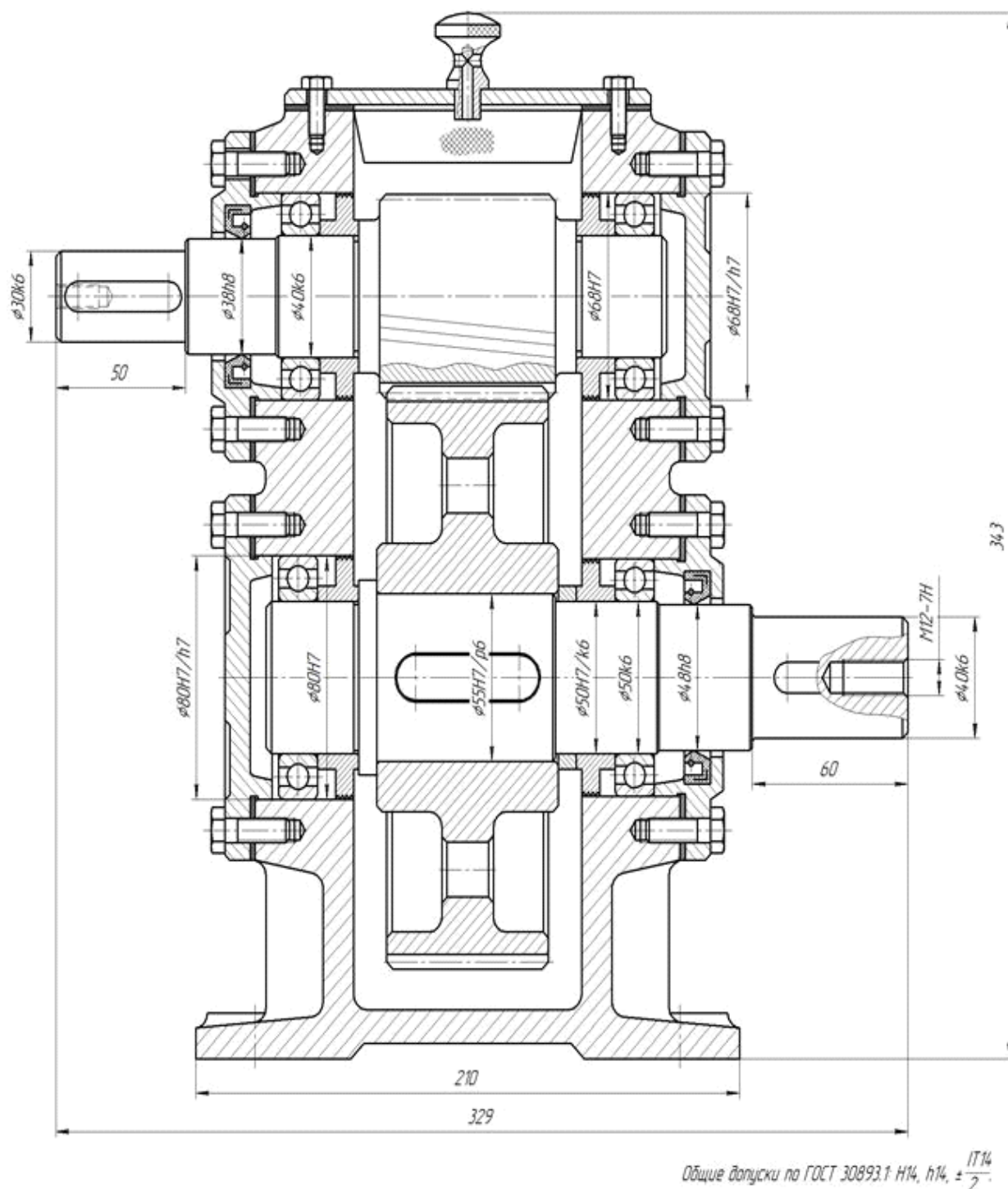


Рисунок 2.6 – Пример простановки посадочных размеров на чертеже

Посадки с зазором

Посадки H/h – «скользящие».

Посадка H7/h6 применяется в неподвижных соединениях при высоких требованиях к точности центрирования часто разбираемых соединений.

Посадки H/g – «движения». Обладают по сравнению с другими посадками небольшим гарантированным зазором.

Посадки H/f – «ходовые». Характеризуются умеренным гарантированным зазором.

Посадки H/e – «легкоходовые». Обладают значительным гарантированным зазором, вдвое большим, чем у ходовых посадок.

Посадки H/d – «широкоходовые». Характеризуются большим гарантированным зазором, позволяющим компенсировать значительные отклонения расположения сопрягаемых поверхностей и температурные деформации и обеспечить свободное перемещение деталей или их регулировку и сборку.

Посадки переходные

Посадки H/js – «плотные». Вероятность получения натяга $P(N)$ равна 0,5...5%, следовательно, в соединении образуются преимущественно зазоры. Обеспечивают лёгкую собираемость.

Посадки H/k – «напряжённые». Обеспечивают хорошее центрирование. Сборка и разборка производится без значительных усилий, например, при помощи ручных молотков.

Посадки H/m – «тугие». Обладают высокой степенью центрирования. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях. Разбираются, как правило, только при ремонте.

Посадки H/n – «глухие». Обладают высокой степенью центрирования. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях с применением прессов. Разбираются, как правило, только при капитальном ремонте.

Посадки с натягом

Посадки H/p – «легкопрессовые». Имеют минимальный гарантированный (наименьший) натяг. Обладают высокой степенью центрирования. Применяются, как правило, с дополнительным креплением.

Посадки H/r, H/s, H/t – «прессовые средние».

Посадки H/u, H/x, H/z – «прессовые тяжёлые».

1 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, $\pm IT14/2$.

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, $\pm t_2/2$.

3 Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $+t_2, -t_2, \pm t_2/2$.

(ср. DIN ISO 286-2)

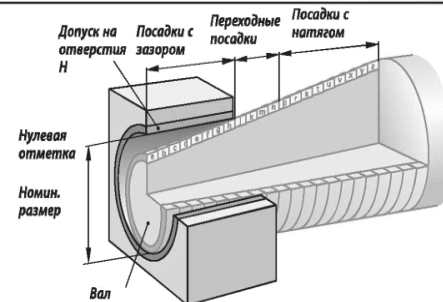
Предельные отклонения в μm ($= 0,001 \text{ mm}$).

В системе отверстия предельные отклонения отверстия одинаковы (при одном и том же классе точности и одном и том же номинальном размере), а различные посадки достигаются путем изменения предельных отклонений валов. Во всех стандартных посадках системы отверстия нижнее отклонение равно нулю.

Посадка с натягом (прессовая посадка)

Переходная посадка

Посадка с зазором



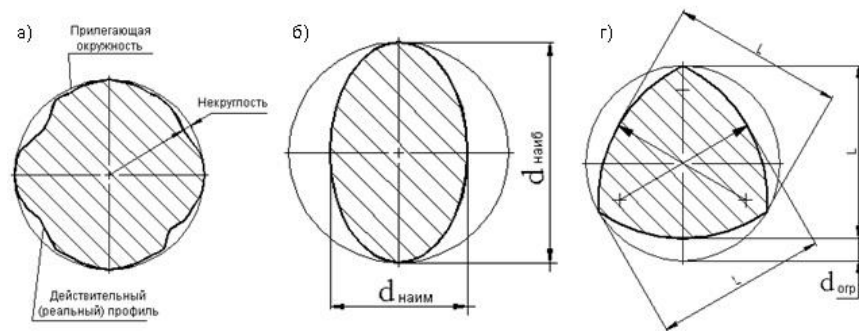
Валы	Предпочти- тельная посадка*)	Номинальный размер свыше . . . до . . . мм																		
		1 3	3 6	6 10	10 14	14 18	18 24	24 30	30 40	40 50	50 65	65 80	80 100	100 120	120 140	140 160	160 180	180 200	200 225	225 250
Отверстие H6		+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 33 0	+ 37 0	+ 42 0	+ 48 0	+ 55 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 83 0	+ 96 0
p 5		+ 10 + 6	+ 17 + 12	+ 21 + 15	+ 26 + 18	+ 31 + 22	+ 37 + 26	+ 45 + 32	+ 52 + 37	+ 61 + 43	+ 70 + 50	+ 80 + 60	+ 90 + 70	+ 100 + 80	+ 110 + 90	+ 120 + 100	+ 130 + 110	+ 140 + 120	+ 150 + 130	+ 160 + 140
n 5		+ 8 + 4	+ 13 + 8	+ 16 + 10	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 28 + 17	+ 33 + 20	+ 38 + 23	+ 45 + 27	+ 51 + 31	+ 58 + 40	+ 66 + 45	+ 75 + 50	+ 85 + 60	+ 95 + 70	+ 105 + 80	+ 115 + 90	+ 125 + 100	+ 135 + 110
k 6		+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 37 + 5	+ 42 + 6	+ 48 + 7	+ 55 + 8	+ 63 + 10	+ 72 + 11	+ 83 + 13	+ 96 + 15	+ 110 + 18
j 6		+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+ 8 - 3	+ 9 - 4	+ 11 - 5	+ 12 - 6	+ 14 - 7	+ 16 - 8	+ 18 - 9	+ 20 - 10	+ 23 - 11	+ 26 - 12	+ 30 - 13	+ 34 - 14	+ 39 - 15	+ 45 - 16	+ 52 - 17	+ 60 - 18
h 5		0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 22	0 - 25	0 - 28	0 - 31	0 - 35	0 - 39	0 - 45	0 - 52	0 - 60
Отверстие H7		+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 58 0	+ 65 0	+ 72 0	+ 80 0	+ 90 0	+ 100 0	+ 110 0	+ 120 0
s 6		+ 20 + 14	+ 27 + 19	+ 32 + 23	+ 39 + 28	+ 48 + 35	+ 59 + 43	+ 72 + 55	+ 88 + 70	+ 105 + 85	+ 125 + 100	+ 145 + 120	+ 170 + 140	+ 195 + 160	+ 225 + 180	+ 260 + 210	+ 300 + 240	+ 350 + 280	+ 400 + 320	+ 460 + 360
r 6	●	+ 16 + 10	+ 23 + 15	+ 28 + 19	+ 34 + 23	+ 41 + 28	+ 50 + 34	+ 60 + 41	+ 72 + 51	+ 88 + 63	+ 105 + 75	+ 125 + 90	+ 145 + 100	+ 170 + 120	+ 195 + 140	+ 225 + 160	+ 260 + 190	+ 300 + 220	+ 350 + 260	+ 400 + 300
n 6	●	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 68 + 35	+ 78 + 40	+ 88 + 45	+ 100 + 50	+ 110 + 55	+ 120 + 60	+ 130 + 65	+ 140 + 70	+ 150 + 75
m 6		+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 58 + 22	+ 65 + 25	+ 72 + 28	+ 80 + 32	+ 90 + 35	+ 100 + 40	+ 110 + 45	+ 120 + 50
k 6		+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 37 + 5	+ 42 + 6	+ 48 + 7	+ 55 + 8	+ 63 + 10	+ 72 + 11	+ 83 + 13	+ 96 + 15	+ 110 + 18
j 6		+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+ 8 - 3	+ 9 - 4	+ 11 - 5	+ 12 - 6	+ 14 - 7	+ 16 - 8	+ 18 - 9	+ 20 - 10	+ 23 - 11	+ 26 - 12	+ 30 - 13	+ 34 - 14	+ 39 - 15	+ 45 - 16	+ 52 - 17	+ 60 - 18
h 6	●	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 33	0 - 37	0 - 41	0 - 46	0 - 51	0 - 57	0 - 63	0 - 70	0 - 78
g 6		- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 16 - 45	- 18 - 51	- 20 - 57	- 23 - 63	- 26 - 70	- 30 - 78	- 34 - 87	- 39 - 97	- 45 - 108	- 52 - 120
f 7	●	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 58 - 110	- 67 - 125	- 77 - 140	- 88 - 155	- 100 - 170	- 115 - 185	- 130 - 200	- 145 - 215	- 160 - 230
Отверстие H8		+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 83 0	+ 96 0	+ 110 0	+ 125 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 180 0	+ 200 0	+ 220 0
x 8	●	+ 34 + 20	+ 46 + 28	+ 56 + 34	+ 67 + 40	+ 72 + 45	+ 87 + 54	+ 97 + 64	+ 119 + 80	+ 136 + 97	+ 168 + 122	+ 192 + 146	+ 232 + 178	+ 264 + 210	+ 311 + 248	+ 343 + 280	+ 373 + 310	+ 422 + 350	+ 457 + 385	+ 497 + 425
u 8	●	+ 32 + 18	+ 41 + 23	+ 50 + 28	+ 60 + 33	+ 60 + 33	+ 74 + 41	+ 81 + 48	+ 99 + 60	+ 109 + 70	+ 133 + 87	+ 148 + 102	+ 178 + 124	+ 198 + 144	+ 233 + 170	+ 253 + 190	+ 273 + 210	+ 308 + 236	+ 330 + 258	+ 356 + 284
h 9	●	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 145	0 - 160	0 - 175	0 - 190	0 - 205	0 - 220	0 - 235	0 - 250
f 7	●	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 58 - 110	- 67 - 125	- 77 - 140	- 88 - 155	- 100 - 170	- 115 - 185	- 130 - 200	- 145 - 215	- 160 - 230
d 9		- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 76	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 195 - 320	- 220 - 350	- 245 - 380	- 270 - 410	- 295 - 440	- 320 - 470	- 345 - 500	- 370 - 530	- 395 - 550
Отверстие H11		+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 220 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 330 0	+ 370 0	+ 420 0	+ 470 0	+ 520 0	+ 580 0	+ 650 0	+ 720 0	+ 800 0
h 9		0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 145	0 - 160	0 - 175	0 - 190	0 - 205	0 - 220	0 - 235	0 - 250
h 11		0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 330	0 - 370	0 - 420	0 - 470	0 - 520	0 - 580	0 - 650	0 - 720	0 - 800
d 9		- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 76	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 195 - 320	- 220 - 350	- 245 - 380	- 270 - 410	- 295 - 440	- 320 - 470	- 345 - 500	- 370 - 530	- 395 - 550
c 11		- 60 - 120	- 70 - 145	- 80 - 170	- 95 - 205	- 110 - 240	- 130 - 280	- 150 - 320	- 170 - 340	- 190 - 380	- 210 - 410	- 230 - 440	- 250 - 470	- 270 - 500	- 290 - 530	- 310 - 560	- 330 - 590	- 350 - 620	- 370 - 650	- 390 - 680
a 11		- 270 - 330	- 270 - 345	- 280 - 370	- 290 - 400	- 290 - 430	- 300 - 470	- 310 - 510	- 320 - 550	- 330 - 590	- 340 - 630	- 350 - 670	- 360 - 710	- 370 - 750	- 380 - 790	- 390 - 830	- 400 - 870	- 410 - 910	- 420 - 950	- 430 - 990

*) Предпочтительные посадки по DIN 7157, ряд 1.

Рисунок 2.7 – ISO посадки в системе отверстия

Точность формы поверхностей

Точность формы цилиндрических поверхностей определяется точностью контура в поперечном (перпендикулярном оси) сечении и точностью образующих цилиндра в продольном (проходящем через ось) сечении. Контур поперечного сечения цилиндрического тела описывается окружностью. Показателем отклонений контура поперечного сечения является некруглость – отклонение от окружности. При отсутствии огранки с нечетным числом граней некруглость определяется как полуразность между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения, измеренными двухконтактным прибором (рисунок 2.8).



а) некруглость, б) овальность, в) огранка

Рисунок 2.8 – Отклонение формы цилиндрической поверхности в плоскости, перпендикулярной оси

К дифференцированным отклонениям формы в поперечном сечении относятся **овальность и огранка**.

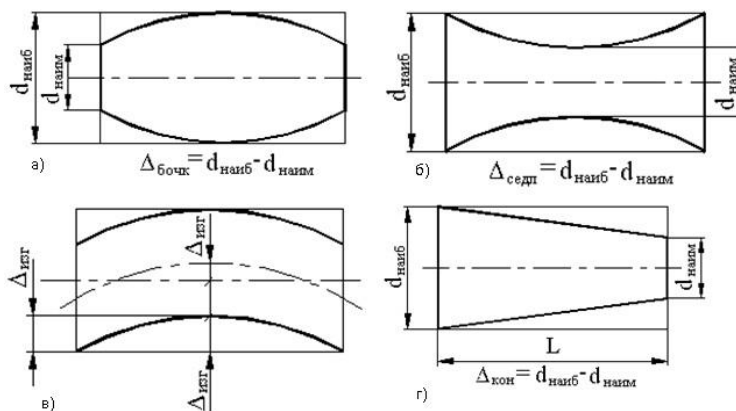
Овальность (рисунок 2.8, б) – отклонение от окружности, при котором действительный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой (вдоль большой и малой осей овала) находятся во взаимно перпендикулярных направлениях. За величину овальности принимается разность между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения, т.е. удвоенная величина некруглости.

Огранка (рисунок 2.8, в) – отклонение, при котором профиль детали представляет собой многогранную фигуру с криволинейными гранями. Величина огранки определяется как наибольшее расстояние от точек действительного профиля до прилегающей окружности.

Отклонение профиля цилиндрической поверхности в продольном сечении определяется как наибольшее расстояние от точек действительного профиля до соответствующей стороны прилегающего профиля. Прилегающий профиль для этого случая образуется двумя параллельными прямыми.

Отклонения от цилиндрической формы наиболее полно могут быть регламентированы комплексным показателем – **цилиндричностью** (отклонением от цилиндричности), включающим все виды отклонения формы поверхности от прямого круглого цилиндра, т.е. **некруглость и отклонение профиля** продольного сечения. Величина нецилиндричности определяется как

наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающего цилиндра (рисунок 2.9, б).



а) бочкообразность, б) седлообразность (конусность),
в) вогнутость, г) конусность

**Рисунок 2.9 – Отклонения формы цилиндрической поверхности
в продольности сечения**

К дифференцированным отклонениям формы цилиндрических поверхностей в продольном сечении относятся бочкообразность (рисунок 2.9, а), седлообразность (рисунок 2.9, б), изогнутость (рисунок 2.9, в), конусность (рисунок 2.9, г).

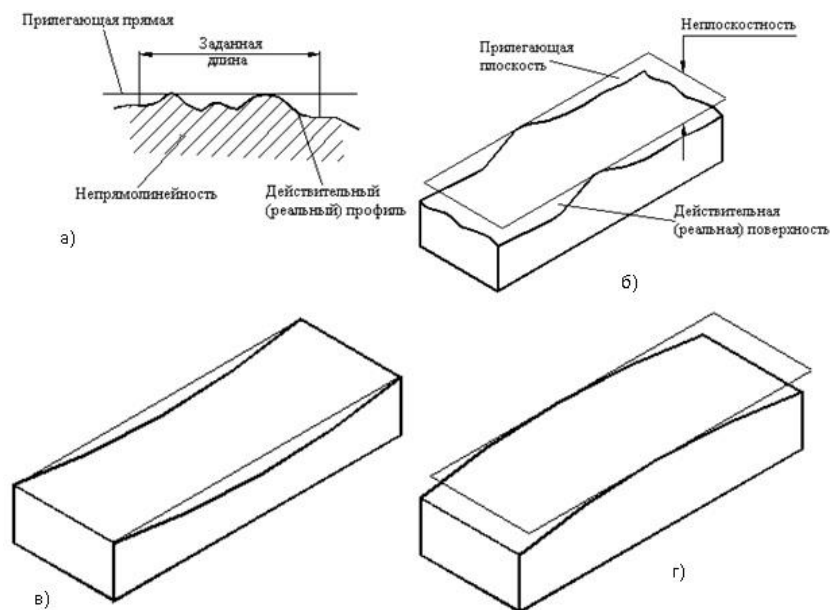
Бочкообразность, седлообразность и изогнутость являются следствием непрямолинейности образующих, конусность – следствием непараллельности образующих.

Совокупность всех отклонений профиля сечения **плоских** поверхностей может быть охарактеризована комплексным показателем – **непрямолинейностью**, а всех отклонений формы поверхности – **неплоскостностью**.

Непрямолинейность (отклонение от прямолинейности профиля поверхности) – наибольшее расстояние от точек действительного профиля (полученного в сечении поверхности нормальной плоскостью, проходящей в заданном направлении) до прилегающей прямой (рисунок 2.10, а).

Допуск на непрямолинейность может быть отнесен ко всему участку проверяемой поверхности или к заданной длине.

Неплоскостность (отклонение от плоскостности) – наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающей плоскости (рисунок 2.10, б), Детали с плоскими поверхностями могут иметь дифференцированные отклонения в виде вогнутости (рисунок 2.10, в) или выпуклости (рисунок 2.10, г).



а) непрямолинейность, б) неплоскостность,
в) вогнутость, г) выпуклость

Рисунок 2.10 – Отклонение формы плоских поверхностей

Отклонением расположения называется отклонение от номинального расположения рассматриваемой поверхности, ее оси или плоскости симметрии относительно баз или отклонение от номинального взаимного расположения рассматриваемых поверхностей.

Номинальное расположение определяется номинальными линейными и угловыми размерами между рассматриваемыми поверхностями, их осями или плоскостями симметрии.

Различают основные виды отклонений расположения:

Непараллельность – отклонение от параллельности либо плоскости, либо оси поверхности вращения и плоскости. Непараллельность характеризуется разностью наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостью и осью поверхности на заданной длине: перпендикулярность – отклонение от перпендикулярности плоскостей, осей или оси к плоскости – отклонение угла между плоскостями, осями или осью и плоскостью от прямого угла, выраженное в линейных единицах на заданной длине.

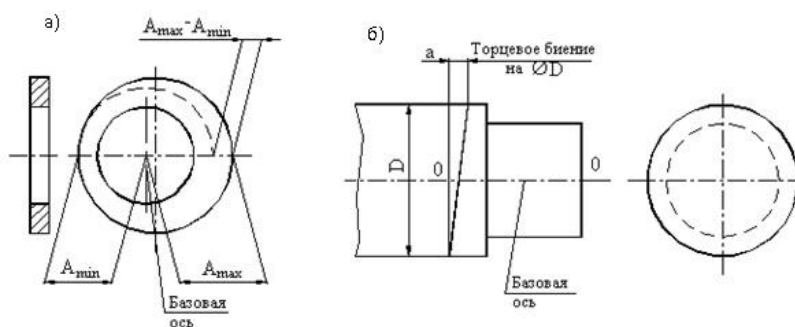
Несоосность – отклонение от соосности относительно базовой поверхности – наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и осью базовой поверхности на всей длине рассматриваемой поверхности или расстояние между осями в заданном сечении.

Обычно на практике учитывают комплексные погрешности, которые складываются из погрешностей формы и положения. К таким погрешностям относятся:

– **радиальное биение** – разность наибольшего $A_{\max}$ и наименьшего $A_{\min}$ расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном этой оси (рисунок 2.11, а). Радиальное биение является результатом смещения центра (эксцентриситета) рассматриваемого сечения относительно оси вращения и некруглости;

– **торцевое биение** – разность наибольшего и наименьшего расстояний a от точек реальной торцевой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра, до плоскости, перпендикулярной базовой оси вращения (рисунок 2.11, б).

Если диаметр не задан, то торцевое биение определяется на наибольшем диаметре торцевой поверхности. Торцевое биение является результатом неперпендикулярности торцевой поверхности базовой оси и отклонений формы торца по линии измерения.



а) радиальное; б) торцевое
Рисунок 2.11 – Биение

Точность обрабатываемой детали – степень соответствия её всем требованиям рабочего чертежа, технических условий и стандартов. Чем выше это соответствие, тем выше точность изготовления.

Погрешности выполнения заготовок, механической обработки и сборки

В процессе изготовления деталей неизбежно возникают отклонения от заданной геометрической формы, как например: овальность, конусность, вогнутость, непрямолинейность и другие погрешности. Рассмотрим основные причины возникновения погрешностей при обработке деталей и способы их уменьшения.

К основным причинам погрешностей, возникающих при механической обработке, относятся: неточность металлообрабатывающих станков, инструментов, приспособлений, деформации обрабатываемых деталей и их нагрев при обработке, неточность настройки станков и измерений, неточность установки детали и др. Как видим, точность обработки на металлорежущих станках зависит от многих факторов, учесть которые не всегда удастся полностью.

Точность размеров обработанных деталей обеспечивается необходимым технологическим процессом, выбором оборудования и режимами резания.

В процессе обработки деталей на станке вследствие действия сил резания в системе станок-инструмент-деталь возникают упругие деформации, которые оказывают влияние на точность обработки. Величина упругой деформации зависит от сил резания, жесткости системы и температурных деформаций частей станка. Жесткость системы станок-инструмент-деталь характеризуется

способностью этой системы сопротивляться силам, действующим в процессе резания. Чем больше жесткость системы, тем меньше погрешность от упругой деформации при обработке. Жесткость станка зависит от жесткости отдельных его узлов.

При зажиме обрабатываемых заготовок возникают деформации, величина которых зависит от формы и конфигурации детали, от жесткости заготовок, сил резания и способа крепления заготовок. Для уменьшения величины деформации после черновой обработки вводят чистовую обработку, при которой заготовки закрепляют с меньшим усилием. На точность обрабатываемой детали влияют также и температурные деформации.

При работе на металлорежущих станках применяют следующие методы достижения заданной точности:

- обработка по разметке или с использованием пробных проходов путем последовательного приближения к заданной форме и размерам; после каждого прохода инструмента производится контроль полученных размеров, после чего решают какой припуск необходимо снять; точность в этом случае зависит от квалификации рабочего, на пример токаря или фрезеровщика;
- обработка методом автоматического получения размеров, когда инструмент предварительно настраивается на нужный размер, а затем обрабатывает заготовки в неизменном положении; в этом случае точность зависит от квалификации наладчика и способа настройки;
- автоматическая обработка на копировальных станках и станках с программным управлением, в которых точность зависит от точности действия системы управления.

Но какой бы станок или способ обработки не применялся, несколько деталей, даже обработанных на одном и том же станке одним и тем же инструментом, будут немного отличаться друг от друга. Это объясняется появлением неизбежных погрешностей обработки, которые служат мерой точности обработанной детали.

Таким образом, к причинам, вызывающим появление погрешностей при обработке резанием, будь то токарная обработка, сверление или фрезерование, можно отнести следующие:

- неточности самого металлорежущего станка, вызванное погрешностями изготовления его деталей и неточностями сборки;
- погрешности установки заготовки;
- неточности изготовления, установки, настройки и износ режущего инструмента;
- упругие деформации технологической системы;
- тепловые деформации технологической системы;
- остаточные деформации в заготовке;
- изношенность направляющих, ходовых винтов и в целом самого станка и др.

Поверхностный слой после обработки резанием существенно отличается от основной массы металла, так как под действием инструмента его твердость и кристаллическое строение изменяются. Толщина дефектного поверхностного

слоя зависит от материала заготовки, вида и режима обработки и др. От качества поверхности и сборки зависят следующие эксплуатационные характеристики деталей: износостойкость поверхностей трущихся пар, характер посадок подвижных и неподвижных соединений, усталостная или циклическая прочность при переменной нагрузке, противокоррозионная стойкость поверхности и др.

Оптимизация всех факторов, влияющих на качество обработки, обеспечит стабильность получения желаемого результата: качества изделия в конечном итоге.

Погрешности размеров, форм и взаимного положения поверхностей деталей и заготовок

При проектировании деталей машин их геометрические параметры задаются размерами элементов, формой и взаимным расположением поверхностей, а также волнистостью и шероховатостью поверхностей. При изготовлении возникают отступления геометрических параметров реальных деталей от идеальных значений. Эти отступления называются погрешностями.

Различают следующие геометрические погрешности деталей машин (рисунок 2.12):

- погрешность размеров Δ_d ;
- погрешность формы поверхностей Δ_ϕ ;
- погрешность расположения поверхностей Δ_p ;
- волнистость поверхностей Δ_v ;
- шероховатость поверхностей $\Delta_{ш}$.

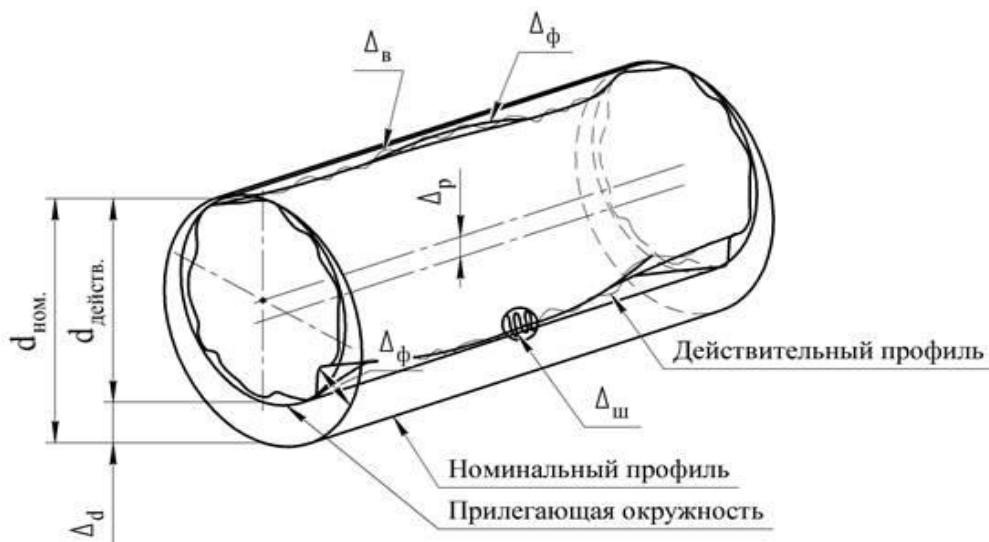


Рисунок 2.12 – Геометрические погрешности детали

В отличие от погрешности точность детали – это степень соответствия действительных параметров детали их идеальным значениям.

Первые три вида перечисленных погрешностей характеризуют точность детали, поэтому различают следующие виды точности:

- точность размеров;
- точность формы поверхностей;
- точность расположения поверхностей.

Шероховатость и волнистость поверхности как её геометрические параметры характеризуют качество поверхности детали. Здесь уместно отметить, что это не единственный параметр качества поверхности детали.

Второй составляющей качества поверхности детали является состояние поверхностного слоя материала детали, его физико-механические свойства: твёрдость, микроструктура, остаточные напряжения и т.д.

Критерием оптимального решения этой задачи является обеспечение работоспособности изделия при наименьшей суммарной стоимости его изготовления и эксплуатации.

Погрешности первичные и суммарные

Все погрешности, определяющие точность изготовления деталей машин на металлорежущих станках, могут быть разделены на три категории:

- 1) погрешности установки заготовок Δ_y ;
- 2) погрешности настройки станка Δ_n ;
- 3) погрешности на стадии процесса обработки, которые вызываются:
 - а) размерным износом режущих инструментов – $\Delta_{и}$;
 - б) упругими деформациями технологической системы под влиянием силы резания – Δ_y ;
 - в) геометрическими неточностями станка – $\sum \Delta_{ст}$;
 - г) температурными деформациями технологической системы – $\sum \Delta_{т}$.

Вполне естественным оказывается путь, когда расчетно-статистическим методом будут количественно оценены первичные (элементарные) погрешности, а затем их суммирование даст количественную оценку ожидаемой точности.

Из практики изготовления деталей известно, что на их конечную точность влияет большое количество погрешностей. Оценка ее при одновременном воздействии погрешностей представляется особенно затруднительной, поэтому вполне обоснованным можно считать подход, когда оценивают только основные погрешности, суммарное воздействие которых незначительно отличается от суммарного воздействия всех погрешностей. Именно такой подход лежит в основе расчетно-статистического метода.

Суммарную погрешность, или поле рассеяния, следует определять на основе функциональной зависимости (2.1):

$$\Delta = f(\varepsilon, \Delta_y, \Delta_{и}, \Delta_n, \Delta_{т}, \sum \Delta_{ф}), \quad (2.1)$$

где ε – погрешность, связанная с установкой заготовки на металлорежущий станок или в приспособление;

Δ_y – погрешность, вызванная упругими деформациями технологической системы;

$\Delta_{и}$ – погрешность, возникающая в результате размерного износа режущих инструментов;

$\Delta_{н}$ – погрешность, связанная с настройкой режущих инструментов;

$\Delta_{х}$ – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы;

$\Delta_{ф}$ – погрешность, связанная с геометрическими отклонениями оборудования.

Все величины, приведенные в скобках, представляют собой первичные погрешности.

Достижимую точность оценивают расчетами. При этом могут быть использованы разработанные методы расчета.

Статистические методы контроля качества

Статистические методы – методы, основанные на использовании математической статистики. Представляют эффективный инструмент сбора и анализа информации о качестве. Применение этих методов позволяет с заданной степенью точности и достоверностью судить о состоянии исследуемых явлений (объектов, процессов) в системе качества, прогнозировать и регулировать проблемы на всех этапах жизненного цикла продукции и на основе этого вырабатывать оптимальные управленческие решения.

В соответствии с положениями стандартов ИСО серии 9000 статистические методы рассматриваются как одно из высокоэффективных средств обеспечения качества. Стандарты ориентируют на разработку механизма применения статистических методов на всех этапах жизненного цикла продукции, начиная с исследования требований рынка к качеству продукции и кончая ее утилизацией после использования.

Стремясь наиболее эффективно использовать статистические методы управления качеством, японские специалисты разработали такие процедуры, которые достаточно просты для применения, то есть не требуют специальных знаний, но в то же время дают результаты, позволяющие профессионалам оперативно анализировать и совершенствовать производственный процесс.

Совокупность методов контроля качества» и содержит:

- контрольные листки. **Контрольный листок** – это бумажный бланк для первичного сбора информации.

- диаграммы Парето. При производстве продукции неминуемо приходится сталкиваться с потерями (некачественные изделия и затраты, связанные с их производством). В большинстве случаев подавляющее число несоответствий и связанных с ними потерь возникает из-за относительно небольшого числа причин. Этот постулат положен в основу анализа Парето, который предназначен для разделения проблем качества на немногочисленные существенно важные и многочисленные несущественные.

- диаграммы Исикавы. Результат процесса зависит от многочисленных факторов, причем некоторые из них могут влиять на другие, то есть быть

связанными отношениями «причина – результат». Знание структуры этих отношений, то есть выявление цепочки причин и результатов, позволяет успешно решать проблемы управления, в том числе и проблемы управления качеством

– гистограммы. **Гистограмма** – это столбиковая диаграмма, служащая для графического представления имеющейся количественной информации.

– диаграммы рассеивания. Обычно предполагается, что исследуемые параметры отражают характеристики качества и влияющие на них факторы. Чтобы понять, есть ли какая-либо связь между рассматриваемыми параметрами, используют диаграммы рассеивания.

Диаграмма рассеивания – это графическое представление пар исследуемых данных в виде множества точек на координатной плоскости.

– контрольные карты. **Контрольная карта** – это графическое представление характеристики процесса, состоящее из центральной линии, контрольных границ и конкретных значений имеющих статистических данных, позволяющее оценить степень статистической управляемости процесса.

– расслоение (стратификация). **Расслоение** – это разделение и группировка исследуемых данных в соответствии с различными факторами.

Методы статистического регулирования технологических процессов и их характеристика

Закон распределения случайных величин. Результат измерения физической величины зависит от многих факторов, влияние которых заранее учесть невозможно. Поэтому значения, полученные в результате прямых измерений какого-либо параметра, являются случайными, обычно не совпадающие между собой. Следовательно, **случайные величины** – это такие величины, которые в зависимости от обстоятельств могут принимать те или иные значения. Если случайная величина принимает только определенные числовые значения, то она называется **дискретной**.

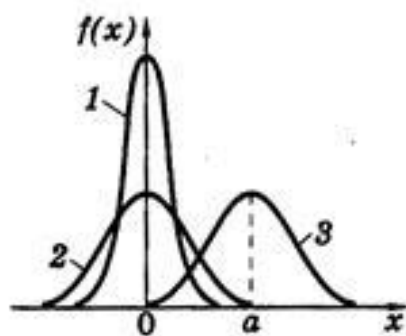


Рисунок 2.13 – График нормального закона распределения

Многие случайные величины (в том числе все случайные погрешности) подчиняются нормальному закону распределения (закону Гаусса). Для этого распределения **наиболее вероятным значением** измеряемой величины является её **среднее арифметическое значение**.

График нормального закона распределения изображен на рисунке 2.13 (колоколообразная кривая).

Кривая симметрична относительно прямой $x = \langle x \rangle = \alpha$, следовательно, отклонения случайной величины вправо и влево от $\langle x \rangle = \alpha$ равновероятны. При $x = \langle x \rangle \pm s$ кривая асимптотически приближается к оси абсцисс. Если

$x = \langle x \rangle$, то функция распределения вероятностей $f(x)$ максимальна и принимает вид (2.2):

$$f_{\max}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (2.2)$$

Таким образом, максимальное значение функции $f_{\max}(x)$ зависит от величины среднего квадратичного отклонения. На рисунке изображены 3 кривые распределения. Для кривых 1 и 2 $\langle x \rangle = \alpha = 0$ соответствующие значения среднего квадратичного отклонения различны, при этом $s_2 > s_1$. (При увеличении s кривая распределения становится более полой, а при уменьшении s – вытягивается вверх). Для кривой 3 $\langle x \rangle = \alpha \neq 0$ и $s_3 = s_2$.

Статистическое регулирование технологического процесса. Под статистическим регулированием технологического процесса понимают корректировку параметров процесса по результатам выборочного контроля параметров продукции для технологического обеспечения требуемого качества. Статистическое регулирование заключается в том, что на основании данных о состоянии процесса в предшествующие моменты времени прогнозируется его состояние в будущем и, в случае необходимости, осуществляется управляющее воздействие.

Известно, что характеристики продукции в ходе производства меняются в определенных пределах. Точно предсказать эти изменения нельзя, однако, если объединить данные об отдельных операциях, возможно составить представление о процессе в целом. Выполняемые операции при этом должны находиться в статистически управляемом состоянии, т.е. процесс должен быть стабилен и вероятность попадания показателя качества в определенные пределы должна быть предсказуема.

Элементом технологической системы свойственны случайные и систематические погрешности. Случайные погрешности внутренне присущи любым процессам и не могут быть уменьшены или устранены без дополнительных организационно-технических мероприятий (замена оборудования, изменение производственных навыков оператора и т.д.). Систематические погрешности не вытекают из сущности процесса, они могут быть вскрыты путем контроля и уменьшены до обоснованного минимума настройкой системы.

Расчетно-аналитический и расчетно-статистический методы

Расчетно-аналитический метод основан на использовании аналитических зависимостей и эмпирических формул. Этот аппарат способен достаточно полно и точно описать явление с учетом его физической сущности. Однако метод оправдывает себя в условиях, очень жестко регламентированных, когда параметры ТП не изменяются либо изменяются незначительно (детерминированные условия). Метод можно применять в условиях единичного и мелкосерийного производств.

Расчетно-статистический метод определения точности сочетает в себе достоинства двух предыдущих методов. Его можно использовать для любого типа производства. Первичные и суммарные погрешности могут быть оценены и расчетным, и статистическим аппаратом исследования в зависимости от поставленной цели. Такая комбинация и сочетание методов исследования оказываются весьма удобными и гибкими.

Раздел III. Точность изделий и способы ее обеспечения

Глава 3.1 Погрешности выполнении заготовок для механической обработки

Экономическое значение прогрессивных видов заготовок

Заготовкой в машиностроении называется полуфабрикат, предназначенный для получения готовой детали. Необходимость экономии материальных ресурсов предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовки. При выборе способа получения заготовок необходим комплексный анализ технико-экономической эффективности рассматриваемых вариантов, при сравнении которых необходимо выбрать такой метод получения заготовки, который обеспечивает снижение трудоемкости обработки и материалоемкости при соблюдении технических требований к качественным характеристикам изделия.

Одной из главных тенденций технического прогресса в заготовительном производстве является решение задач максимального приближения геометрических форм и размеров заготовки к форме и размерам готовой детали.

Основными факторами, влияющими на выбор способа получения заготовки, являются: тип производства, конструктивные особенности детали (масса, размер, конфигурация, требуемое качество поверхности и точность), материал, из которого сделана деталь, технологические возможности оборудования.

Влияние типа производства. Для мелкосерийного и единичного производства характерно использование в качестве заготовок горячекатаного проката, отливок, полученных литьем в разовые песчано-глинистые формы, и поковок, полученных свободной ковкой. Использование других видов заготовок экономически невыгодно из-за возможной высокой их себестоимости.

В случае единичного и мелкосерийного производства оснастка, необходимая для получения одной заготовки, не может использоваться для получения другой, поэтому дополнительные затраты на оснастку оказываются больше экономии, достигаемой от сокращения объема последующей механической обработки.

В условиях же крупносерийного и массового производства затраты на специальное оборудование и технологическую оснастку окупаются за счет снижения трудоемкости последующей механической обработки, т.к. заготовка

по форме и размерам приближается к готовой детали. Поэтому в условиях крупносерийного и массового производства рентабельны такие способы получения заготовок, как горячая объемная штамповка, литье в кокиль, под давлением, по выплавляемым моделям.

Влияние конструктивных особенностей деталей. Удельная стоимость отливки и поковок повышается с уменьшением их массы. Указанная закономерность является общей для всех способов получения как заготовок, так и готовых деталей, так как трудоемкость формообразования определяется общей площадью поверхностей, подлежащих обработке.

При выборе способа получения заготовки определенную роль играют размеры детали, например, для литья по выплавляемым моделям и литья под давлением размеры отливки ограничены техническими возможностями литейного оборудования. Специальные виды штамповки позволяют получать заготовки, параметры шероховатости поверхности и точность размеров которых соответствуют достигаемым при механической обработке. Большинство специальных методов литья также не требуют дополнительной механической обработки.

Влияние материала, из которого изготовлена деталь. Материал, из которого изготовлена деталь, также оказывает влияние на метод получения заготовки. При этом определяющее значение приобретают его технологические свойства: ковкость, литейные свойства, обрабатываемость давлением, свариваемость и др.

Если материал обладает низкими литейными качествами, то целесообразнее использовать в качестве заготовки прокат или поковки. В случае, когда деталь должна быть изготовлена из труднодеформируемого высокопрочного сплава, использование в качестве заготовки поковок значительно повышает трудоемкость и себестоимость изготовления.

Необходимо отметить, что технико-экономический анализ проводится при выборе заготовки в процессе подготовки к выпуску каждой конкретной детали в реальных условиях производства. Только в этом случае выбранный вариант получения заготовки может быть оценен как оптимальный. При этом способ получения заготовок не должен рассматриваться в отрыве от технологии последующей механической обработки.

После анализа исходной информации, связанной с типом производства, конструктивными особенностями детали, материалом детали и технологическими возможностями оборудования, осуществляется предварительный выбор заготовки (как правило, несколько альтернативных вариантов). Вычислив массу и размер заготовки, рассчитывают нормы расхода материала на заготовку и стоимость получения заготовки, что является необходимой информацией для определения рационального типа заготовки.

Сопоставляя полученные данные с информацией о технологии последующей механической обработки, осуществляют окончательный выбор типа заготовки, соответствующий в наибольшей степени конкретным условиям.

Оптимальная заготовка по своим размерам и массе должна максимально приближаться к готовой детали, характеризоваться минимальными нормами расхода материала и стоимостью получения.

Чтобы определить эти параметры, необходима информация о размерах и массе заготовки. О степени приближения заготовки к готовой детали можно судить по ее размерам. Размеры заготовки зависят от величины припуска на последующую механическую обработку. В общем случае, чем совершеннее технология получения заготовки, тем меньше величина припуска для последующей обработки.

Припуском называется слой металла, снимаемый с поверхности заготовки в процессе обработки для обеспечения формы и размера, заданных на чертеже.

Припуски подразделяются на общие, т.е. удаляемые в процессе всей обработки детали, и межоперационные, т.е. удаляемые при выполнении отдельных операций. Общий припуск на обработку равен сумме межоперационных допусков по всем технологическим операциям. От правильного расчета и выбора припуска зависит себестоимость обработки и качества поверхности детали.

Завышение припуска увеличивает трудоемкость обработки, что приводит к увеличению станочного парка, к перерасходу электроэнергии, металлорежущих инструментов, к увеличению расходов на обслуживание и ремонт оборудования. Однако слишком заниженные припуски не обеспечивают возможности удаления дефектных слоев металла, включающих выпуклости, вмятины, окалину, раковины, трещины, погрешности формы и размеров и др. Глубина дефектного слоя зависит от способа изготовления заготовок.

Наряду с перечисленными отклонениями в процессе обработки возникают погрешности установки, которые должны быть также компенсированы путем соответствующего увеличения припуска.

Максимально необходимая величина припуска должна обеспечивать удаление микро- и макронеровностей дефектного слоя, имеющего, как правило, отличные от основного металла физико-механические свойства и структуру.

Экономические основы выбора заготовок

Исходя из необходимости максимального приближения формы и размеров заготовки к параметрам готовой детали, следует применять прогрессивные методы и способы получения заготовок, такие как литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, литье под давлением, штамповка в закрытых штампах, периодический прокат и др. Прогрессивные способы получения заготовок обеспечивают снижение затрат на механическую обработку и повышение качества продукции.

1) Заготовки из проката и специальных профилей (рисунки 3.1 и 3.2).

Для изготовления деталей методами резания и пластической деформацией применяют сортовой, специальный прокат и профили.

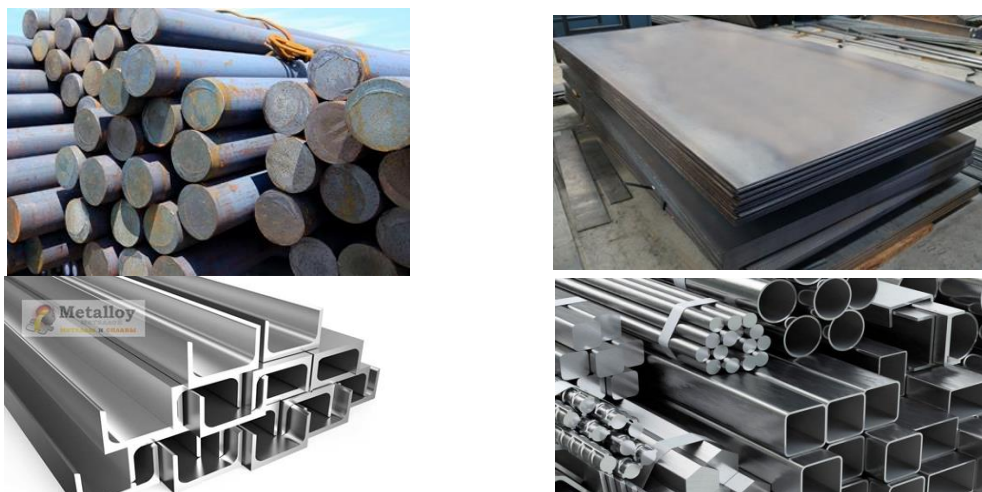


Рисунок 3.1 – Заготовки из проката

Специальный прокат применяется в условиях крупносерийного и массового производства, что позволяет почти полностью исключить механическую обработку детали.



Рисунок 3.2 – Заготовки из специального проката

2) Кованые и штампованные заготовки (рисунок 3.3).
Область применения этих методов – серийное и массовое производство.

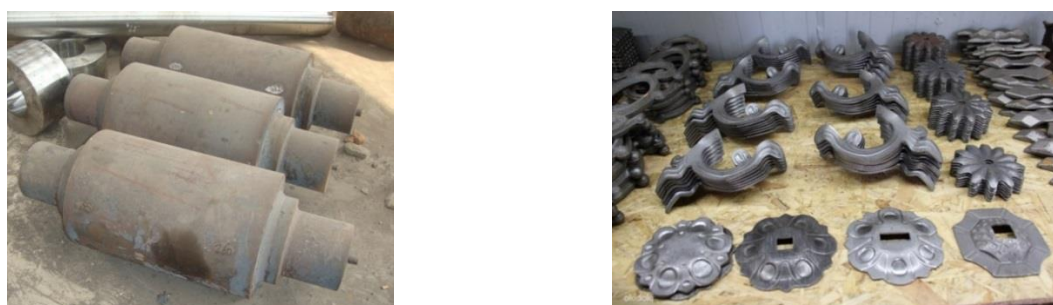


Рисунок 3.3 – Кованые и штампованные заготовки

Заготовки для деталей типа стержня с утолщением, колец, втулок, деталей со сквозными или глухими (в том числе и глубокими) отверстиями и другие целесообразно получать на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).

3) Отливки (рисунок 3.4).

Литье в песчаные формы является наиболее универсальным методом, однако изготовление формы требует больших затрат времени.



Рисунок 3.4 – Отливки

Литье в оболочковые формы применяют главным образом при получении ответственных фасонных отливок.

Литье в кокиль экономически целесообразно при величине партии не менее 300 – 500 шт. для мелких отливок и 30 – 50 шт. для крупных. Литье по выплавляемым моделям экономически целесообразно для литых деталей очень сложной конфигурации из любых сплавов при величине партии свыше 100 шт.

Литье под давлением применяется в основном для получения фасонных отливок из цинковых, алюминиевых, магниевых и латунных сплавов.



Рисунок 3.5 – Центробежное литье

Центробежное литье (рисунок 3.5) получило распространение при выполнении заготовок, имеющих форму тел вращения. Технико-экономическое обоснование.

Технико-экономические характеристики заготовок

Технико-экономическое обоснование выбора заготовки для обрабатываемой детали производят по нескольким направлениям: металлоемкости, трудоемкости и себестоимости, учитывая при этом конкретные производственные условия. Технико-экономическое обоснование ведется по двум или нескольким выбранным вариантам. При экономической оценке определяют металлоемкость, себестоимость или трудоемкость каждого выбранного варианта изготовления заготовки, а затем их сопоставляют. Технико-экономический расчет изготовления заготовки производят в следующем порядке:

- устанавливают метод получения заготовки согласно типу производства, конструкции детали, материалу и другим техническим требованиям на изготовление детали;
- назначают припуски на обрабатываемые поверхности детали согласно выбранному методу получения заготовки по нормативным таблицам или производят расчет аналитическим методом;
- определяют расчетные размеры на каждую поверхность заготовки;

- назначают предельные отклонения на размеры заготовки по нормативным таблицам в зависимости от метода получения заготовки;
- производят расчет массы заготовки на сопоставляемые варианты;
- определяют норму расхода материала с учетом неизбежных технологических потерь для каждого вида заготовки (некратность, на отрезание, угар, облай и т.д.);
- определяют коэффициент использования материала по каждому из вариантов изготовления заготовок с технологическими потерями и без потерь;
- определяют себестоимость изготовления заготовки, выбранных вариантов для сопоставления и определения экономического эффекта получения заготовки;
- определяют годовую экономию материала от сопоставляемых вариантов получения заготовки;
- определяют годовую экономию от выбранного варианта заготовки в денежном выражении.

Технологичность конструкции машин

Технологичность конструкции изделия – совокупность свойств конструкции изделия, определяющие ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Технологичность конструкции – параметр, оценивающий машину (деталь) в отношении возможности оптимального использования материалов, средств и времени при ее изготовлении и ремонте.

В процессе разработки изделия конструктор, придавая его конструкции необходимые потребительские свойства, отражающие полезность, должен обеспечить такие свойства, которые определяют уровень затрат всех видов ресурсов на этапах жизненного цикла. Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия (ТКИ).

Обеспечение технологичности конструкции изделия – функция подготовки производства, включающая комплекс мероприятий по управлению технологичностью и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, техническом обслуживании и ремонте изделий. Разработка нового машиностроительного изделия является сложной конструкторской задачей, связанной не только с достижением требуемого технического уровня этого изделия, но и с приданием его конструкции свойств, которые обеспечивают максимально возможное снижение затрат труда, материалов и энергии на его разработку, изготовление, техническое обслуживание и ремонт.

Проблема обеспечения технологичности отражена в разработке и внедрении Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) изделий машиностроения, приборостроения и средств автоматизации

и основывается на опыте обеспечения технологичности конструкций изделий передовыми в этом отношении предприятиями и организациями страны.

Критерии для оценки технологичности конструкции

В ЕСТПП технологичность воспринимается как совокупность свойств конструкции, характеризующих один из показателей качества изделия.

Качество изделия для потребителя, определяемое в значительной мере его конструктивным исполнением, характеризуется:

– функциональностью, т.е. способностью изделия реализовывать основную функцию для достижения заданного технического эффекта;

– надежностью;

– эргономичностью,

– эстетичностью;

– экономичностью,

– безопасностью и экологичностью.

Основная задача обеспечения технологичности конструкции изделий (ТКИ) состоит 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 конструкции изделий.

Производственная технологичность – технологичность конструкции изделия при технологической подготовке производства, изготовлении, а также монтаж вне предприятия-изготовителя.

Эксплуатационная технологичность – технологичность конструкции изделия при подготовке его к использованию по назначению, техническом обслуживании, текущем ремонте и утилизации.

Ремонтная технологичность – технологичность конструкции изделия при всех видах ремонтов, кроме текущего.

Главными факторами, влияющими на обеспечение технологичности конструкции изделия, являются: вид изделия, объем выпуска и тип производства, его конструктивная сложность, новизна конструкции изделия, характеристика исходных материалов, стадия разработки.

Основные показатели ТКИ относятся к группе ресурсосберегающих показателей соответствия продукции, определяющих приспособленность конструкции к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте при заданных условиях выполнения работ и объеме выпуска. В их число входят: трудоемкость, материалоемкость и энергоемкость, т.е. показатели использования ресурсов – труда, материалов, энергии, необходимых для непосредственного производства и использования изделия по назначению. Наряду с этими тремя группами единичных показателей к основным показателям относят показатели технологической себестоимости

изделия, характеризующие затраты различных видов ресурсов комплексно в стоимостном выражении.

Отработка конструкции изделия на технологичность

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность следует учитывать:

- вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготовления, технического обслуживания и ремонта, а также монтажа вне предприятия-изготовителя;
- перспективность изделия, объем его выпуска;
- передовой опыт предприятия-изготовителя и других предприятий с аналогичным производством, новые высокопроизводительные методы и процессы изготовления;
- оптимальные условия конкретного производства при рациональном использовании имеющихся средств технологического оснащения и производственных площадей и планомерном внедрении новых передовых технологических методов и средств производства;
- связь достигнутых показателей технологичности с другими показателями качества изделия.

Обработка 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.

Комплекс работ по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа вне предприятия-изготовителя в общем случае включает:

- повышение серийности изделия и его составных частей при изготовлении (обработка, сборка, испытание) посредством стандартизации, унификации и обеспечения конструктивного подобия;
- ограничение номенклатуры составных частей, конструктивных элементов и применяемых материалов;
- применение в разрабатываемых конструкциях, освоенных в производстве конструктивных решений, соответствующих современным требованиям;
- применение 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;

- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на обеспечение доступа к составным частям, установки и съема составных частей изделия;

- использование конструктивных решений, обеспечивающих возможность транспортирования изделия в собранном виде или в виде законченных составных частей, не требующих при монтаже разборки для расконсервации, ревизии, а также операций по подгонке;

- использование конструктивных решений, облегчающих и упрощающих условия изготовления и монтажа вне предприятия-изготовителя для ограничения требований к квалификации изготовителей и монтажников.

Комплекс работ по снижению трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия в общем случае включает:

- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на проведение подготовки к использованию по назначению, технического контроля, технического диагностирования и на транспортирование изделия;

- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на обеспечение: доступа к составным частям; замены составных частей изделия такими же частями при сохранении установленного качества изделия в целом; установки и съема составных частей изделия;

- восстановления геометрических характеристик и качества поверхности детали;

- повышение требований по унификации и стандартизации составных частей изделия;

- ограничение числа сменяемых составных частей изделия, номенклатуры материалов, инструмента, вспомогательного оборудования и приспособлений;

- использование конструктивных решений, облегчающих условия технического обслуживания и ремонта для ограничения требований к квалификации персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт.

Комплекс работ по снижению материалоемкости изделия включает:

- применение рациональных сортов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей;

- разработку и применение прогрессивных конструктивных решений, позволяющих повысить ресурс изделия и использовать малоотходные и безотходные технологические процессы;

- разработку рациональной компоновки изделия, обеспечивающей сокращение расхода материала при монтаже вне предприятия-изготовителя;

- внедрение научно обоснованных запасов прочности металлоконструкций, типовых методов расчетов и испытаний изделия.

Основные направления повышения технологичности деталей, подвергаемых механической обработке

Механическая обработка является важнейшим методом получения высокоточных деталей. Обеспечение технологичности при обработке резанием вносит определяющий вклад в повышение качества, производительности и себестоимости изделий машиностроения. Методы повышения технологичности при механической обработке зависят от особенностей применяемых технологических модулей, видов резания и металлорежущих инструментов. При обеспечении технологичности следует обращать внимание на выбор технологических баз; методы обеспечения точности размеров; унификацию конструктивно-технологических элементов и рациональность их расположения при обработке; построение и использование технологических зон с целью обеспечения удобства подвода инструментов.

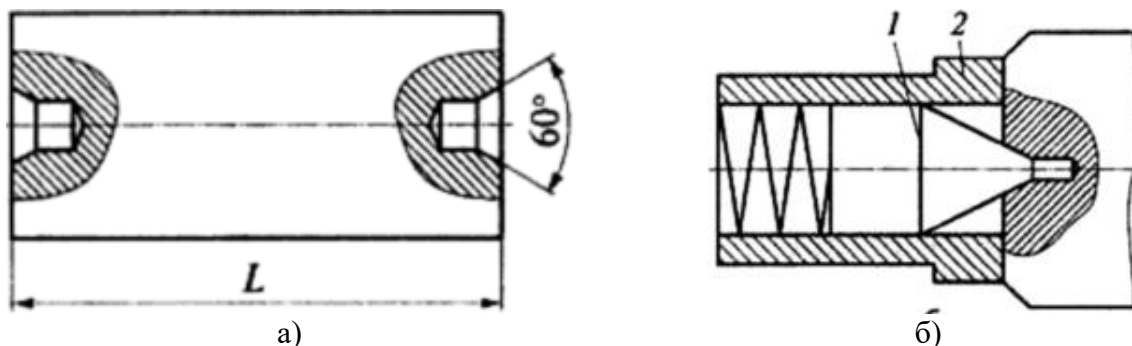


Рисунок 3.6 – Применение центровых отверстий при обработке валов

При обработке тел вращения основным методом обеспечения точности центрирования заготовок следует считать применение искусственных технологических баз – центровых отверстий (рисунок 3.6, а). Передний и задний центры обеспечивают поддержку валов в двух опорах и минимизацию прогиба под действием сил резания. После выполнения фрезерно-центровальной операции получается достаточно точный габаритный осевой размер L . Использование подпружиненного плавающего переднего центра 1 с жестким упором в торец к шлифованной втулке 2 (рисунок 3.6, б) позволяет особенно при обработке на станках с ЧПУ получать осевые размеры по 1 Т7-8.

При проектировании технологических операций весьма важным следует считать рациональную простановку размеров. При задании размеров по схеме, приведенной на рисунке 3.7, а, размер, соответствующий замыкающему звену A_0 , вычисляют на основании размерной цепи: $A_0 = L - A_1 - A_2$. Величина допуска замыкающего звена $TA_0 = TL + TA_1 + TA_2$. При задании размеров от правого торца (рисунок 3.7, б) величину TA_0 можно найти как $TA_0 = TA_3 + TA_4$.

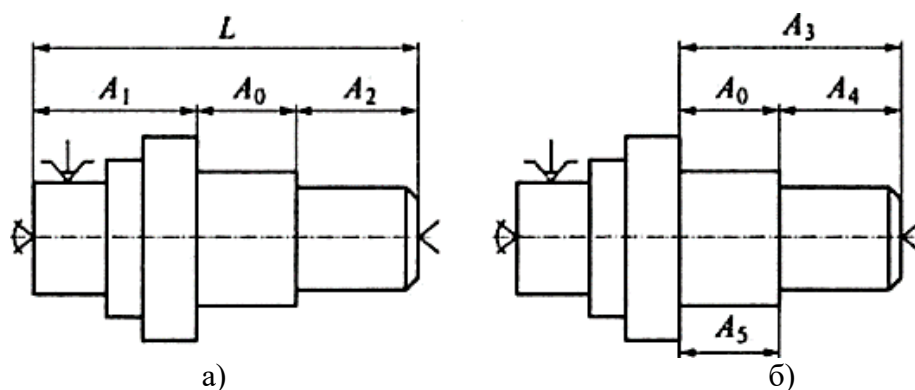


Рисунок 3.7. – Анализ технологических размерных цепей с целью обеспечения точности размера A_0

При обработке на токарном станке с ЧПУ имеется возможность выполнить размер A_0 в приращениях, т. е. задать размер « TA » – TA_5 .

Если, например, $TL = TA_1 = TA_2 = TA_3 \cdot TA_4 = TA_5$, то очевидно, что при задании размеров по третьему варианту будет достигнута наивысшая точность замыкающего звена.

Технолог, проводящий анализ конструкторской документации на технологичность, должен проверять рациональность простановки размеров и рассчитывать соответствующие технологические размерные цепи, выбирая приемлемую схему обработки.

На современном промышленном предприятии действует развитая система стандартизации и унификации. В частности, унифицируются различные конструктивно-технологические элементы деталей. Для тел вращения (рисунок 3.8, а) унифицируются фаски 7, канавки для выхода шлифовального круга 2, канавки для выхода резцов при резьбонарезании 3.

При обработке зубчатых колес (рисунок 3.8, б) устанавливаются стандартные фаски 7, параметры зубозакругления, формы выточек 4 и 5. Данным способом сокращается номенклатура применяемых инструментов при точении и упрощается технология их изготовления.

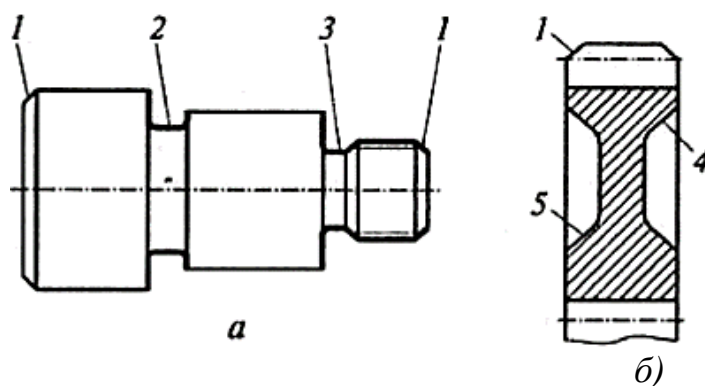


Рисунок 3.8 – Унификация конструктивно-технологических элементов тел вращения

Большое значение имеет правильное назначение поверхностей деталей и их геометрических параметров. Например, большой перепад диаметров у шеек вала (рисунок 3.9, а) приводит к усложнению штамповой оснастки и к

увеличению массы снимаемой стружки, перерасходу инструментов. При назначении параметров вне осевых отверстий в дисках целесообразно располагать их на одинаковом расстоянии от двух взаимно перпендикулярных осей симметрии (рисунок 3.9, б). Это дает возможность использовать типовую оснастку и программы обработки для станков с ЧПУ.

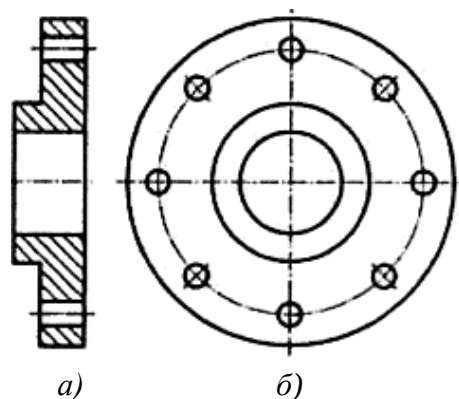


Рисунок 3.9 – Выбор рационального расположения поверхностей

Расположение шпоночных канавок вала с одной стороны (рисунок 3.10, а) позволяет осуществлять подвод инструмента для их обработки при одном закреплении заготовки. Наличие в конструкции детали косого отверстия затрудняет обработку и приводит к необходимости использования специальных приспособлений с направляющими сверло кондукторными втулками 1 (рисунок 3.10, б).

При обработке шлицев наиболее производительной по сравнению с долблением является операция шлиценарезания цилиндрическими червячными фрезами (рисунок 3.10, в). Однако для ее применения необходимо обеспечить соответствие между диаметром фрезы 3 и диаметром выступающей шейки вала 2.

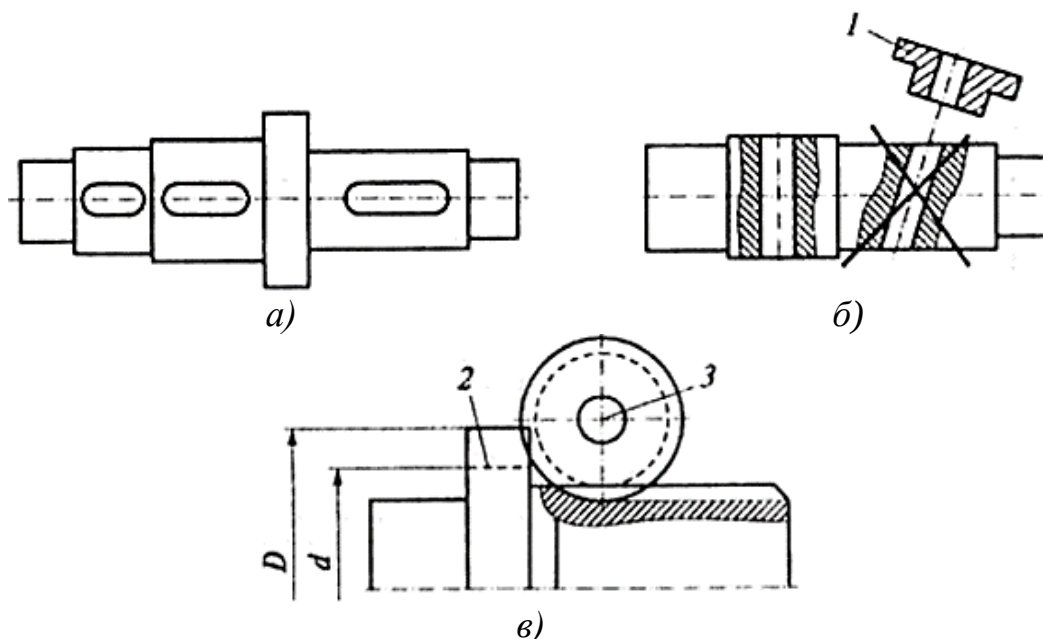


Рисунок 3.10 – Обеспечение удобства подвода инструментов

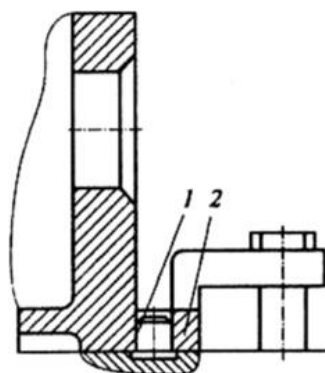


Рисунок 3.11 – Обеспечение рационального базирования и закрепления

При обработке заготовок корпусных деталей используют широкие возможности повышения технологичности. Повышения устойчивости заготовок деталей при базировании и закреплении достигают применением для этих целей наиболее габаритных плоскостей (рисунок 3.12). Весьма часто используют искусственные технологические базы: приливы и проушины, которые позволяют вести точное базирование на нижнюю плоскость и два отверстия с применением цилиндрических 1 и срезанных пальцев 2.

Часто корпусные детали имеют сложную конфигурацию и повышенные габариты, поэтому применение много-инструментальных станков с ЧПУ позволяет вести обработку с одного установка. При этом требуется переход на другие методы обработки. Так, подбор соответствующих ширины и глубины канавки в подобных случаях позволяет вести обработку дисковыми фрезами вместо строгания (рисунок 3.12, а).

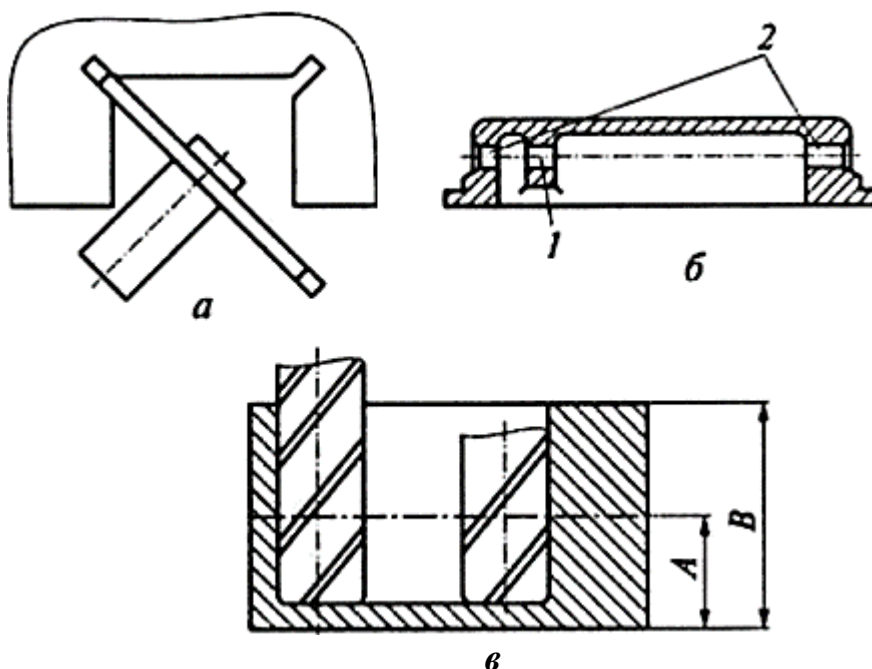


Рисунок 3.12 – Обеспечение удобного подвода и использования инструмента

Для уменьшения вылета осевого инструмента при обработке расположенных соосных отверстий могут быть применены дополнительные технологические отверстия 1 (рисунок 3.12, б). Тогда обработка основных

отверстий корпуса 2 облегчается и становится более точной. Сокращение глубины фрезерования концевыми фрезами с размера В до размера А (рисунок 3.12, в) позволяет увеличить скорости резания.

Современные машины и механизмы требуют принятия мер для снижения их массы. Этому способствует использование сотовых конструкций, для обеспечения изготовления которых необходимы значительные затраты для подготовки производства и значительное машинное время. Применение симметричных конструкций как при обработке смежных зон с одной стороны, так и при двусторонней обработке сокращает число переустановов инструмента и объемы управляющих программ для станков с ЧПУ (рисунок 3.13).

Рациональное конструирование позволяет отказаться от двусторонней обработки и перенести обработку на одну сторону с использованием одного установа (рисунок 3.14).

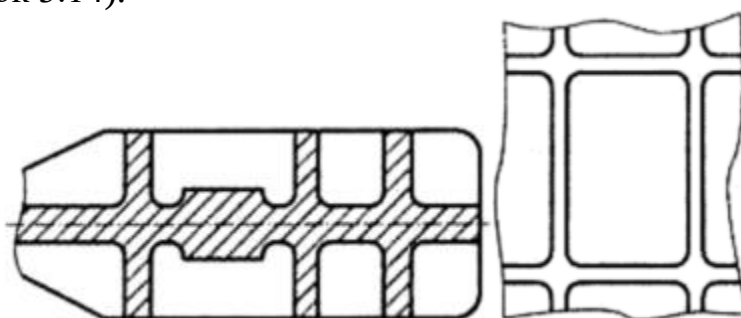


Рисунок 3.13 – Перенос обработки на одну сторону

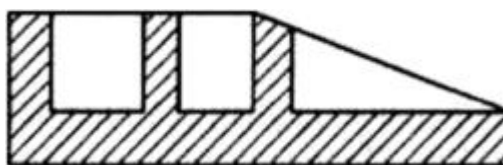


Рисунок 3.14 – Использование симметричных конструкций корпусных деталей

Обработку внутренних полостей необходимо сопровождать тщательной технологической отработкой чертежей с целью сокращения числа типов применяемого инструмента – концевых фрез. Применение одинаковых радиусов R при обработке угловых сопряжений и создание условий для беспрепятственного перемещения инструмента ($a > 2R$) сокращает число переходов при значительной экономии машинного времени дорогостоящих станков с ЧПУ.

Проектирование технологических процессов обработки и восстановления деталей машин

Задачей проектирования технологического процесса механической обработки и восстановления деталей является определение такой ее последовательности, при которой наиболее полно используются технологические возможности станков, приспособлений и инструментов, а деталь изготавливается с наименьшими материальными затратами. Такие же

задачи решаются и при проектировании технологического процесса восстановления изношенных и поврежденных деталей.

Виды технологических процессов. Устанавливаются три вида технологических процессов в зависимости от количества изделий, охватываемых процессом: единичный, типовой и групповой.

Единичный ТП разрабатывается для изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типоразмер – одна из нескольких деталей одного типа, отличается только одним или несколькими размерами.

Исполнение – одна из нескольких деталей одного типоразмера, отличающаяся от других или материалом, или видом покрытия и т.п. при одних и тех же размерах.

Типовой ТП разрабатывается для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Групповой ТП разрабатывается для изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Типовая технологическая операция характеризуется единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Групповая технологическая операция характеризуется совместным изготовлением группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

В соответствии со стандартами ЕС ТПП, в первую очередь разрабатываются типовые или групповые ТП и ТО и только в случае невозможности этого разрабатываются единичные ТП.

По степени детализации описания ТП подразделяются на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные.

Типовые ТП, как правило, имеют общий маршрут для всех деталей – типоразмеров этого типа.

При разработке групповых ТП группирование может осуществляться как по отдельным операциям, так и по всему ТП. В первом случае могут не совпадать количество и последовательность переходов, а во втором случае могут не совпадать операции обработки конкретных деталей, входящие в одну и ту же группу. Поэтому при разработке групповых ТП рекомендуется представить схему последовательности операций группового ТП для деталей группы (на основе комплексного маршрута) или переходов групповой операции (на основе комплексной детали).

Разработка ТП производится для изготовления изделий, конструкции которых отработаны на технологичность.

Группирование изделий по конструктивным и технологическим признакам с учетом организации производства является обязательным этапом, предшествующим разработке ТП.

Технологический процесс должен быть разработан с учетом производственных возможностей предприятия и передового опыта.

Исходные данные для проектирования технологических процессов

Необходимо также иметь следующие исходные данные:

1. Годовую производственную программу. Данные по производственной программе, содержащие объем выпуска изделий, комплектность и сроки выполнения программного задания. Данные по объему выпуска изделий дадут возможность определить тип производства, по которому будет осуществляться проектируемый технологический процесс (единичное, серийное или массовое). В условиях серийного и массового производства объем выпуска служит основой для определения такта выпуска;

2. Рабочий чертеж детали, по которому составляют технологический маршрут обработки. Рабочий чертеж детали с соответствующими техническими условиями. В отдельных случаях могут оказаться необходимыми чертежи сборочной единицы или агрегата, куда входит заданная деталь. При проектировании типовых или групповых технологических процессов необходимы рабочие чертежи деталей тех наименований, которые образуют тип или группу деталей;

3. Указания по использованию имеющегося оборудования и его загрузке, паспортные данные имеющегося в цехе наличного оборудования, когда процесс разрабатывается для действующего предприятия, каталоги станков при разработке технологического процесса для вновь проектируемого предприятия;

4. Справочные материалы, к которым относятся каталоги или паспортные данные станков, справочники по режимам резания, нормированию, по приспособлениям, инструменту и т. д.

При разработке технологии необходимо учитывать имеющийся опыт изготовления типовых деталей:

1. Выбирают заготовку и метод ее изготовления.
2. Выбирают технологические базовые поверхности.
3. Выбирают вид и методы обработки поверхностей деталей.
4. Составляют технологический маршрут обработки детали. В конце каждой операции включается контроль обработанных параметров.
5. Устанавливают состав и рациональную последовательность переходов в операции.
6. Определяют припуски на обработку поверхностей деталей по всем технологическим переходам, а также операционные размеры, допуски, на различных стадиях обработки заготовок.
7. Выбирают станки, приспособления, режущий и контрольно-измерительный инструмент.
8. Определяют режимы обработки заготовок на станках.
9. Определяют нормы времени для каждой операции.
10. Устанавливают разряды работ для всех операций.
11. Определяют себестоимость изготовления детали.
12. Заполняют технологическую документацию.

Глава 3.2 Способы обеспечения точности при механической обработке

Заданную точность обработки обеспечивают разными способами в зависимости от условий производства. В единичном производстве применяют **способ пробных ходов и промеров**, при массовом производстве – **способ автоматического получения размеров**. В серийном производстве применяют оба способа.

При способе пробных ходов станочник подводит режущий инструмент к заготовке и на небольшой длине снимает пробную стружку. Измерив обработанный участок детали и сравнив полученный размер с требуемым, станочник при необходимости корректирует глубину резания. Число пробных ходов (корректировок) инструмента зависит от квалификации станочника и требуемой точности детали. Только убедившись, что полученный размер соответствует размеру по чертежу детали, станочник обрабатывает всю поверхность детали. При этом способе точность обработки и время её достижения зависят от квалификации станочника.

Современное мировое развитие металлорежущего оборудования позволяет перед началом обработки произвести имитацию процесса, тем самым вскрыть ошибки настройки и убедиться в точности выполнения размерных параметров детали. Современное станочное оборудование объединяет в себе числовое программное управление (ЧПУ), программируемый контроллер (ПК) с функциями ЭВМ, систему автоматического проектирования технологических процессов (САПР ТП), диагностику и компьютерный контроль.

С увеличением количества заготовок в партии применяют способ автоматического получения размеров. Одним из широко используемых является метод обработки на **предварительно настроенных станках**. В этом случае заготовки не выверяют, а закрепляют, как правило, в приспособлениях, которые определяют их положение относительно оборудования и инструмента. Инструмент или заготовка совершает обычно один ход, в результате которого технологическая замкнутая система обеспечивает все необходимые точностные показатели детали. Такой способ поддерживает заданную производительность с соблюдением такта выпуска, а точностные показатели зависят целиком от состояния технологической системы. Субъективные факторы влияют на точность лишь в том смысле, что рабочий в соответствии со своей квалификацией настраивает технологическую систему. Этот способ экономически себя оправдывает особенно при больших партиях заготовок, когда затраты на настройку технологической системы раскладываются на стоимость большого количества деталей. Примерами этого распространенного способа является точение на копировальных и многорезцовых автоматах, фрезерование на продольно-строгальных станках, тонкое растачивание и др.

Прогрессивным является способ автоматического получения точности размеров с использованием систем управляющего (активного) контроля.

Одним из таких способов достижения точности является использование подналадчиков. В технологическую систему встраивают измерительное и регулирующее устройство, которое является подналадчиком.

Изготавливаемые детали по окончании процесса обработки измеряют, и в случае выхода выдерживаемого размера за поле технологического допуска система автоматически поднастраивается, т. е. корректируется, чтобы снова получать необходимые точностные характеристики. Такую систему используют, когда совершается один рабочий ход, например растачивание или бесцентровое шлифование.

Сущность базирования и общие понятия о базах

При обработке деталей на металлорежущих станках их заготовки должны быть правильно сориентированы относительно узлов станка, определяющих траектории движения подачи инструментов. Эти задачи решаются базированием.

Под базированием понимают придание заготовке требуемого положения. Однако при выполнении технологической операции требуется не только базирование обрабатываемой заготовки, но и придание ей неподвижности относительно приспособления на весь период обработки.

В связи с этим при установке заготовок в приспособление решаются различные задачи: ориентирование (осуществляется базированием) и придание неподвижности (достигается закреплением заготовок).

Для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве необходимо лишить его 6 степеней свободы.

Существуют понятия:

– **Главная базирующая поверхность** – это поверхность при установке на которую деталь имеет наибольшую устойчивость. Она содержит 3 (или более) опорные точки, является наиболее протяженной в сравнении с другими поверхностями.

– **Свободная (несопрягаемая) поверхность** – не участвует ни в обработке, при сборке не контактирует с другими поверхностями.

– **Исполнительная поверхность** – которая в данный момент может обрабатываться.

Классификация баз

По назначению и области применения базы подразделяются на:

- сборочные;
- конструкторские;
- измерительные;
- технологические.

По месторасположению в выполняемом технологическом процессе их условно разделяют на:

- черновые;
- получистовые;
- чистовые.

См. рисунок 3.15.



Рисунок 3.15 – Классификация баз

Конструкторская база – это база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии (ГОСТ 21495-76). В практике конструкторской базой называется поверхность, линия или точка детали, по отношению к которой определяются на чертеже расчетные положения других деталей или сборочных единиц изделия, а также других поверхностей и геометрических элементов данной детали.

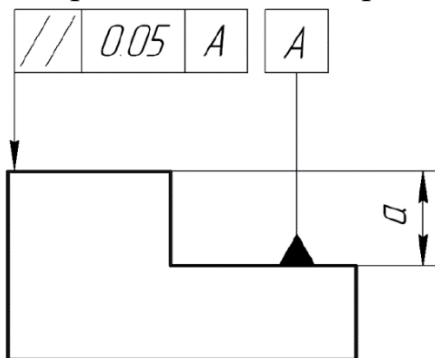


Рисунок 3.16 – Измерительная база

Измерительной базой (рисунок 3.16) называется поверхность, линия или точка от которой производится отсчет выполняемых размеров при обработке или взаимного расположения поверхностей деталей или элементов изделия. А – измерительная база

Измерительные базы материализуются с помощью вспомогательных деталей: штырей, пальцев, натянутых струн, отвесов, оптических установок (коллиматоров) и других устройств.

Технологическая база – это база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (ГОСТ 21495-76). Технологической базой, используемой при обработке заготовок на станках, называется поверхность, линия или точка заготовки, относительно которой ориентируются ее поверхности, обрабатываемые на данном установе. Обычно именно на эту поверхность деталь опирается при обработке.

Установочная база – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Направляющая база – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Опорная база – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Правила (принципы) базирования

Принцип совмещения баз. При назначении технологических баз для обеспечения более точной обработки необходимо совмещать измерительные и технологические базы, в том числе использовать эти поверхности не только при обработке но и при сборке.

Принцип постоянства баз. При разработке технологических процессов необходимо стремиться к тому, чтобы одна и также поверхность (по возможности) была использована в качестве базы. Исключение составляют черновые базы (например, изготовление центровых отверстий).

Принцип последовательной смены баз. Если не удастся разработать ТП, выполняемый при одной установке заготовки (т.е. без переустановок), тогда в качестве следующей базы необходимо использовать поверхность (ранее обработанную) точность которой должна быть выше.

Таблица 3.1 – Графическое обозначение опор зажимных и установочных устройств

Наименование	Обозначение на видах (спереди)	Наименование	Обозначение на видах (спереди)
1	2	3	4
Опора неподвижная и люнеты		Зажим одиночный	
Опора подвижная и люнеты		Зажим двойной	
Опора призматическая		Патрон цанговый	
Оправка цилиндрическая		Центр неподвижный	
Оправка шлицевая, резьбовая		Центр вращающийся	

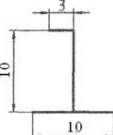
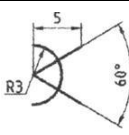
1	2	3	4
Патрон поводковый		Центр плавающий	

Схема базирования призматических деталей. Призматическая деталь рассматривается здесь как представитель многих реальных деталей самых различных форм и размеров (плиты, коробки, крышки и т.п.).

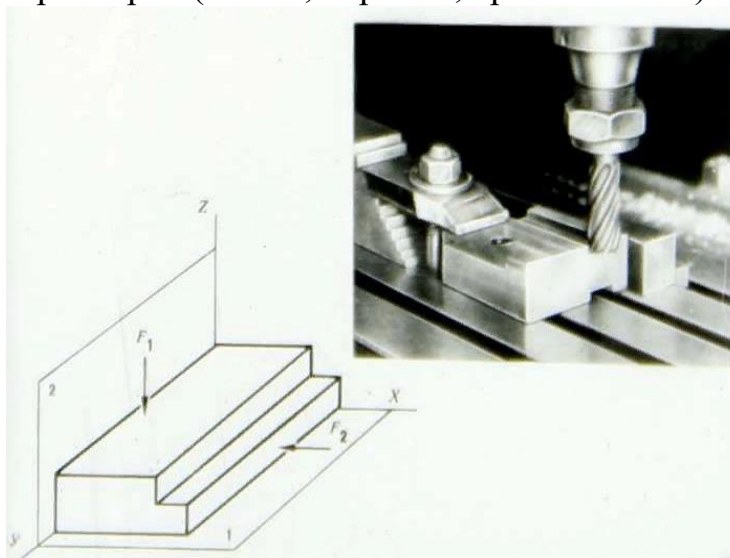


Рисунок 3.17 – Упрощенное базирование с одной степенью свободы

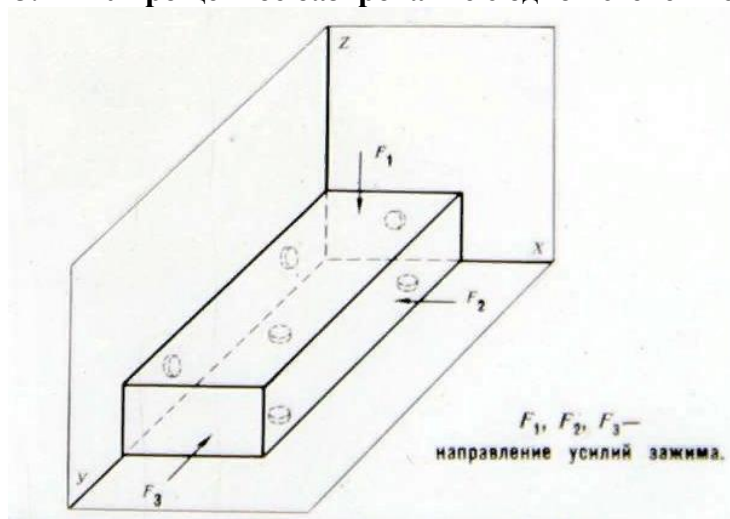


Рисунок 3.18 – Базирование призматических и цилиндрических деталей в приспособлениях

В качестве установочной базы заготовки используется поверхность наибольшей площади. Для реализации этого правила заготовку устанавливают наибольшей нижней частью на 3 опорные точки (штифта). При этом заготовка лишается 3 степеней свободы. Прижав заготовку к 2 направляющим опорам, мы лишаем ее еще 2 степеней свободы. Для лишения заготовки последней шестой степени свободы достаточно прижать заготовку гранью с меньшей площадью к опоре.

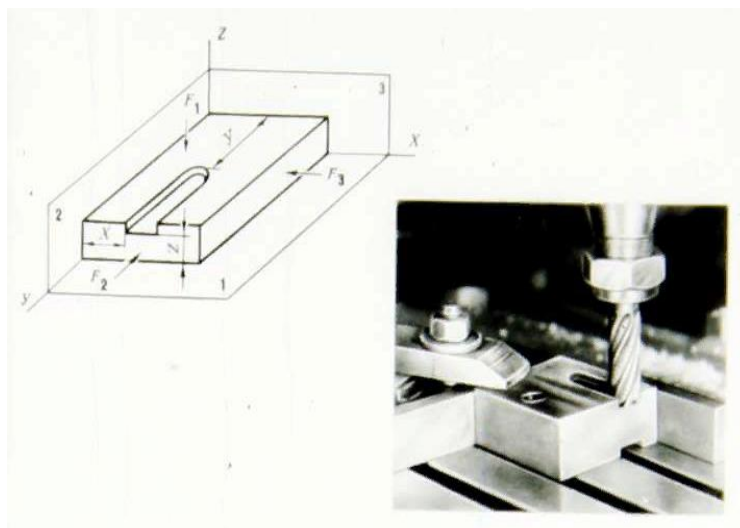


Рисунок 3.19 – Полное базирование

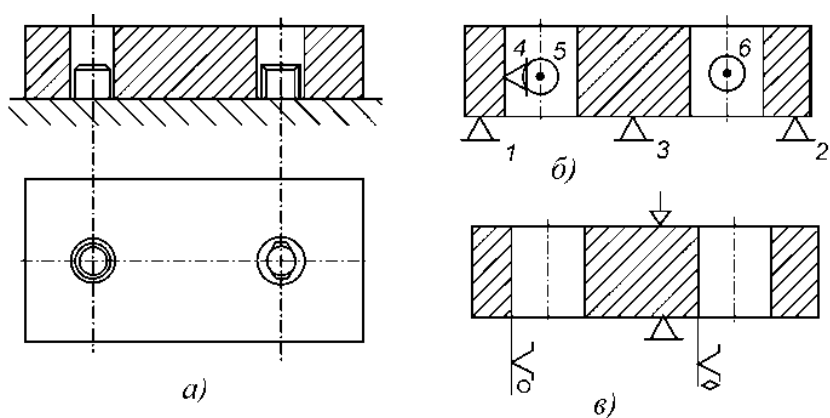


Рисунок 3.20 – Базирование призматических деталей

Схема базирования цилиндрической детали

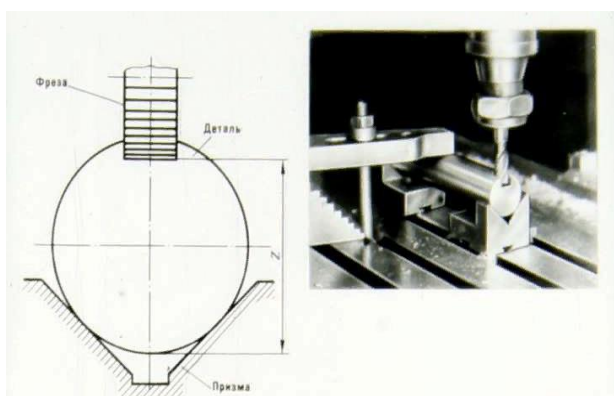


Рисунок 3.21 – Базирование цилиндрических деталей с двумя степенями свободы на призмах

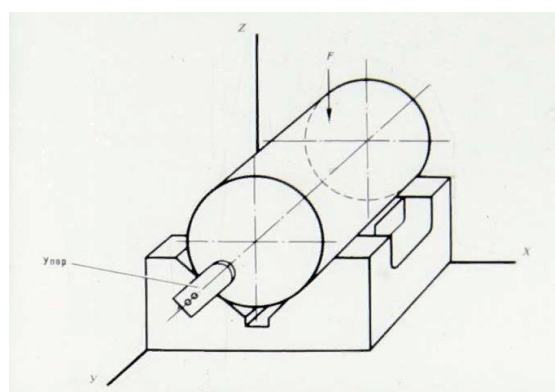


Рисунок 3.22 – Базирование деталей тел вращения на призме до упора

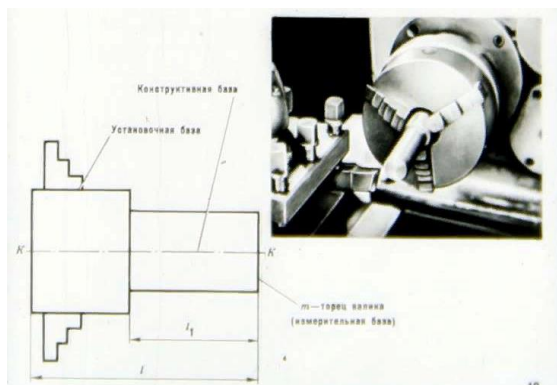


Рисунок 3.23 – Базирование детали в трехкулачковом самоцентрирующем патроне

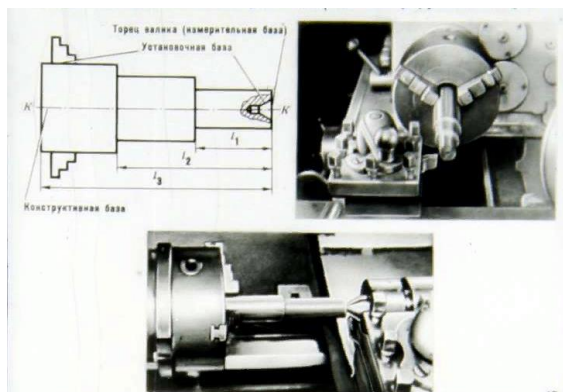


Рисунок 3.24 – Базирование детали в трехкулачковом самоцентрирующем патроне

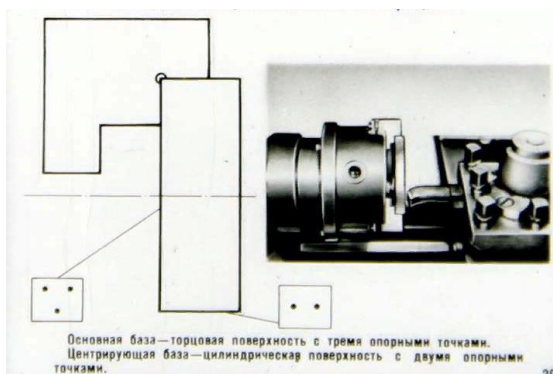


Рисунок 3.25 – Базирование коротких деталей тел вращения

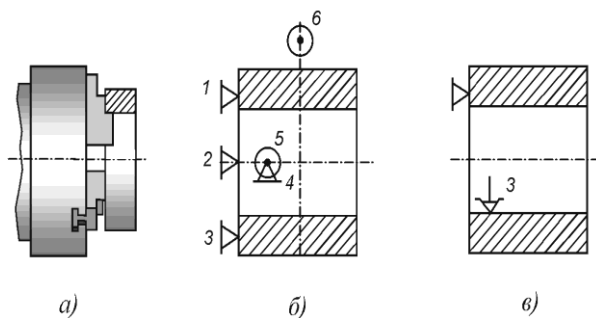


Рисунок 3.26 – Базирование коротких деталей тел вращения

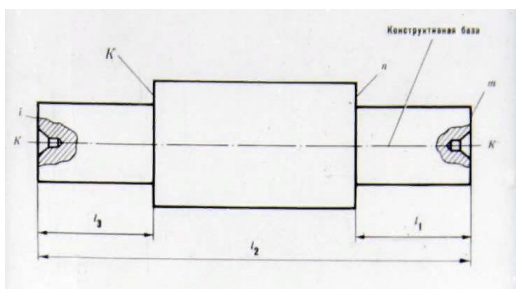


Рисунок 3.27 – Схема базирования деталей в центрах

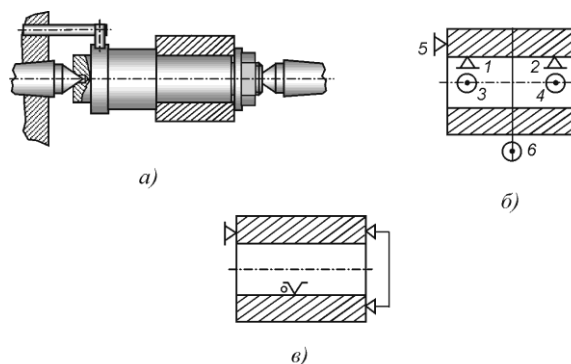


Рисунок 3.28 – Схема базирования деталей в центрах

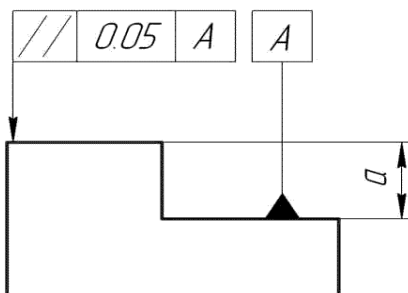


Рисунок 3.29 – Пример измерительной базы

В качестве черновых баз рекомендуется принимать поверхности, на которых нет прибылей, литников или облоя от штамповки.

Черновая база должна быть использована только 1 раз, т.к. необработанная поверхность имеет низкую точность по сравнению с обработанной.

Принципы совмещения и единства баз. Для получения детали с высокими качественными показателями в качестве баз рекомендуется принимать поверхности, которые затем служили бы в качестве конструкторских и измерительных баз.

В этом случае, когда одна и та же база является конструкторской, технологической и измерительной обработка детали осуществляется по размерам, расставленным конструктором на рабочем чертеже. В противном случае технолог, необходимо производить замену размеров и проставить на рабочем чертеже другие размеры, полученные путем расчетов.

Силы резания, инерционные силы, возникающие при обработке на металлорежущих станках, передаются на упругую технологическую систему СПИД (станок, приспособление, режущий инструмент, обрабатываемая деталь), вызывая ее деформацию. Эта деформация складывается из деформации основных деталей системы, деформации стыков, а также деформаций соединительных деталей (болты, клинья и др.). Наибольшее влияние на величину упругих деформаций системы оказывают деформации стыков и соединительных деталей.

Способность упругой системы оказывать сопротивление действию сил, стремящихся ее деформировать, характеризует ее жесткость.

Жесткость технологической системы станок-приспособление-инструмент-заготовка

Под влиянием силы резания, приложенной к звеньям упругой **технологической системы** (станок-приспособление-инструмент-заготовка), возникает ее деформация. На точность обработки влияют преимущественно те деформации системы, которые изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью, т. е. деформации, направленные нормально к обрабатываемой поверхности.

Способность системы противостоять действию силы, вызывающей деформации, характеризует ее жесткость.

Жесткостью технологической системы называют отношение $j = P_y / y$ радиальной силы резания P_y , направленной перпендикулярно обрабатываемой поверхности, к смещению y режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в том же направлении.

Следует иметь в виду, что сила резания P_z (тангенциальная), а в ряде случаев и P_x (осевая) также влияют на жесткость упругой системы. Так, например, жесткость суппорта токарно-винторезного станка при одновременном действии сил P_y и P_x оказывается более высокой, чем при действии только силы P_y ; при нагружении передней и задней бабки сила P_z уменьшает их жесткость.

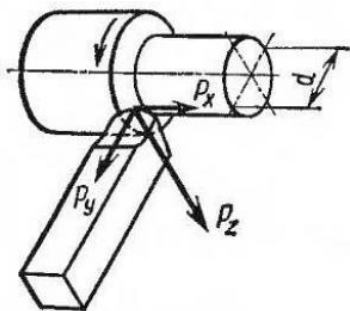


Рисунок 3.30 – Схема сил резания

На рисунке 3.30 приведена схема сил, действующих в звеньях упругой технологической системы. Если бы под действием этих сил система не деформировалась, то заготовка после обработки имела бы форму цилиндра диаметром d . Однако под действием сил P_z , P_y , P_x упругая система подвергается деформации, в результате чего диаметр заготовки после обработки будет отличным от заданного на размер Ad (где Ad характеризует погрешность заданного размера d). Эта погрешность тем больше, чем больше действующие в процессе обработки силы P_z , P_y и P_x .

В различных точках обрабатываемой поверхности жесткость технологической системы различна. Различна и жесткость отдельных звеньев системы.

Так, под **жесткостью станка** понимают способность узлов станка противостоять действию сил деформации, причем заготовку и инструмент в этом случае принимают абсолютно жесткими

Под **жесткостью инструмента** или **приспособления** понимают способность того или другого противостоять действию сил деформации при абсолютно жестких станке и заготовке.

В зависимости от условий работы при расчете деформаций учитывают не только силы P_z , P_y и P_x , но и массу обрабатываемых заготовок, а также влияние центробежных сил неуравновешенных вращающихся частей станка. Жесткость обрабатываемых заготовок определяют обычно по формулам курса «Сопротивление материалов».

Достаточная жесткость режущего инструмента является непременным условием применения высокопроизводительных режимов резания, тогда как низкая жесткость приводит к необходимости ухудшать параметры режима во избежание роста погрешности обработки. Деформации режущего инструмента особенно сказываются при растачивании глубоких отверстий, где расточные скалки с консольным расположением лезвия являются наиболее слабым звеном системы. Жесткость приспособлений также сильно влияет на точность обработки, поэтому, как правило, следует производить расчет приспособлений на деформации.

Для облегчения расчетов жесткости технологической системы введено понятие податливости W , т. е. величины обратной жесткости (3.1):

$$W = 1/j. \quad (3.1)$$

Если исходить из определения жесткости всех звеньев технологической системы и ее элементарных связей, то общая формула для расчета жесткости системы будет иметь вид (3.2) или (3.3):

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \dots + W_n, \quad (3.2)$$

или

$$1/j = (1/j_1) + (1/j_2) + (1/j_3) + \dots + (1/j_n). \quad (3.3)$$

Жесткость станка можно определить **статическим методом**, т.е. нагружением узлов неработающего станка, и **производственным методом** – путем испытания на жесткость работающего станка. Статический метод заключается в постепенном нагружении узлов станка силами, соответствующими тем, которые возникают в процессе работы станка, с производством замеров деформаций. При производственном методе испытания на жесткость проводят в процессе обработки заготовки с разной глубиной резания и неизменными остальными параметрами режима резания.

Обработку ведут на коротких участках, после чего измеряют высоту уступа на обработанной поверхности. Разница размеров уступов является следствием различного отжатия заготовки, обусловленного глубиной резания. Чем меньше отжатие детали, тем меньше погрешность, тем выше жесткость станка или жесткость технологической системы (деформацией заготовки при испытании пренебрегают).

Повышение жесткости технологической системы содействует уменьшению вибраций ее звеньев и, следовательно, позволяет повышать режимы резания, не снижая точности обработки.

Погрешность установки деталей

Под погрешностью установки понимается отклонение положения заготовки на станке от требуемого. Например, требуемым для заготовок вала на токарном станке является положение, при котором их ось совпадает с осью шпинделя станка. В действительности всегда имеет место то или иное отклонение положения заготовок от требуемого, которое прямо или косвенно переносится на погрешности их обработки.

1. **Погрешность установки** ε_y – возникает при установке заготовки в приспособление, которая складывается из трех составляющих ее погрешностей: **погрешность базирования** ε_6 , **погрешность закрепления** ε_3 и **погрешность приспособления** $\varepsilon_{пр}$. Эти погрешности представляют собой случайные величины, распределение которых можно в первом приближении принять нормальным (закон Гаусса). Тогда погрешность установки можно получить из уравнения (3.4):

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2}, \quad (3.4)$$

2. **Нормированная погрешность обработки** ($\varepsilon_{н.обр}$) возникает в процессе обработки детали вследствие геометрической неточности станка, упругой и тепловой деформации технологической системы, износа режущего инструмента и др. факторов. Определить величину этой погрешности для партии деталей аналитически без экспериментальной проверки в процессе обработки практически невозможно. В первом приближении при выполнении расчетов нормированную погрешность обработки можно определять по величине средней экономической точности обработки ($\Delta_{эк}$), значения которой для различных видов обработки приводятся в справочной литературе.

Обеспечение заданной точности механической обработки, в частности с использованием приспособлений, в значительной мере зависит от выбора технологических баз и схемы установки заготовок. Однако при этом возникает погрешность установки (3.5):

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} + \varepsilon_{л.н} + \varepsilon_n + \varepsilon_{yc} + \varepsilon_c, \quad (3.5)$$

где ε_6 – погрешность базирования;

ε_3 – погрешность закрепления основная;

$\varepsilon_{л.н}$ – погрешность закрепления, связанная с изменением формы поверхности контакта установочного элемента в результате его износа;

ε_n – погрешность, определяемая прогрессирующим износом установочных элементов;

ε_{yc} – погрешность изготовления и сборки опор установочного приспособления;

ε_c – погрешность установки и фиксации приспособления на станке.

В совокупности погрешности ε_n , ε_{yc} и ε_c представляют собой погрешность положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{пр}$.

Точность выполнения заданных размеров может быть определена (3.6):

$$T_n = \varepsilon_y + \omega, \quad (3.6)$$

где T_n – допуск выполняемого размера H ;

ω – средняя точность обработки на металлообрабатывающих станках, данные о которой приведены в [17].

Для принятого метода обработки и схемы установки заготовки ожидаемая (расчетная) точность обработки $T_{н.расч}$ должна быть меньше допуска выполняемого размера:

$$T_{н.расч} \leq T_n.$$

В связи с расчетом ожидаемой точности обработки инженеру-технологу приходится решать следующие задачи: определение погрешности базирования в зависимости от принятой схемы установки заготовки в приспособлении или выбор схемы установки, обеспечивающей минимальную погрешность базирования; определение погрешности закрепления в зависимости от непостоянства сил зажима, неоднородности шероховатости и волнистости поверхностей заготовок, износа установочных элементов приспособлений; определение погрешности, вызываемой износом установочных элементов и межремонтного периода приспособлений; определение исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность обработки и возможность установки заготовок.

Установка (по ГОСТ 21495-76) – процесс базирования и закрепления заготовки и изделия.

Погрешность установки – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого.

Погрешность установки ε_y , как одна из составляющих общей погрешности выполняемого размера суммируется из погрешностей базирования ε_6 ,

закрепления ε_3 и погрешностей заготовки, вызванных неточностью приспособления $D_{пр}$. По своему физическому смыслу величина ε_y выражает погрешность положения заготовки.

Так как величины ε_6 , ε_3 , $D_{пр}$ представляют собой поле рассеяния случайных величин, то общая погрешность установки определяется как (3.7):

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{пр}^2}. \quad (3.7)$$

Базирование (по ГОСТ 21495-76) – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно системы координат.

Погрешность базирования имеет место при несовмещении технологической и измерительной баз заготовок.

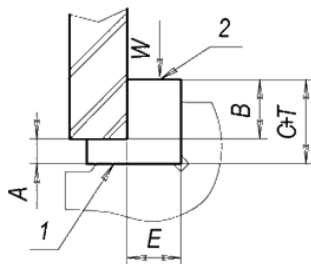


Рисунок 3.31 – Установка заготовки

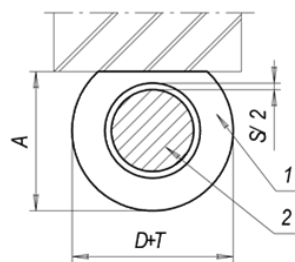


Рисунок 3.32 – Установка заготовки на цилиндрический палец

При данной установке (рисунок 3.31) погрешность базирования для размера A равна 0, т.е. $\varepsilon_{6A} = 0$. (технологическая и измерительная базы совмещены в плоскости 1), а погрешность базирования для размера B равна допуску на размер C, т.е. $\varepsilon_{6B} = T$ (технологическая база 1 не совмещена с измерительной 2).

При установке заготовки на цилиндрический палец (рисунок 3.32) базовым отверстием различаются два случая. При посадке без зазора (разжимная оправка) погрешность базирования для размера A равна половине допуска на диаметр заготовки: $\varepsilon_{6A} = T/2$. При наличии зазора (жесткий палец) погрешность базирования для этого же размера возрастает на величину предельного изменения диаметрального зазора: $\varepsilon_{6A} = T/2 + S$.

Для уменьшения или исключения погрешности базирования следует совмещать технологические и измерительные базы, выбирать рациональные размеры и расположение установочных элементов, устранять или уменьшать зазоры при посадке заготовки на охватываемые и охватывающие установочные элементы.

Погрешность базирования – отклонение фактически достигнутого положения заготовки при базировании от требуемого. Эту погрешность можно рассматривать как отклонение технологических баз от установочных элементов приспособления, возникшее при базировании. Причем это отклонение определяется как максимально возможное для партии заготовок.

Рассмотрим примеры установки заготовок, при которой имеют место погрешности базирования.

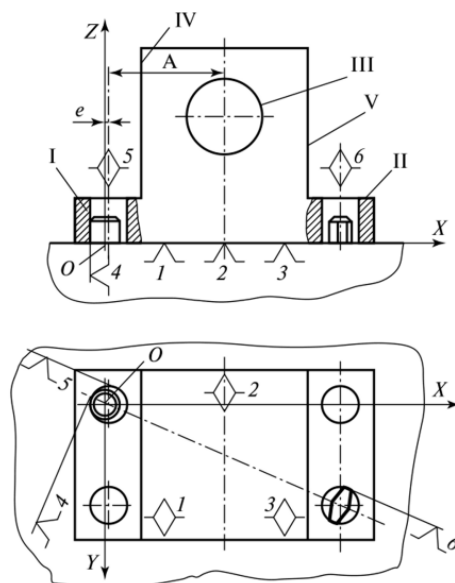


Рисунок 3.33 – Схема установки корпуса

Левым отверстием корпус устанавливается на цилиндрический палец приспособления, а правым – на срезанный. Отметим, что такая схема установки благодаря своей простоте широко используется на практике.

Из-за зазоров между пальцами и отверстиями I и II возможно отклонение оси левого отверстия от оси цилиндрического пальца на величину

$$e = \frac{S_r}{2} + \frac{Td_0}{2} + \frac{Td_{II}}{2} \quad (3.8)$$

где S_r – гарантированный зазор между пальцем и отверстием;

Td_0, Td_n – соответственно допуски диаметров отверстия I и цилиндрического пальца.

Удвоенное значение величины e и будет представлять собой погрешность базирования корпуса в направлениях осей $X(e_{\delta d})$ и $Y(e_{\delta v})$, т.е. (3.9):

$$\varepsilon_{\hat{\rho}^x} = \varepsilon_{\hat{\rho}^y} = 2e = S_r + Td_0 + Td_{\Pi} \quad (3.9)$$

Наряду с погрешностями базирования $\varepsilon_{\delta x}$ и $\varepsilon_{\delta y}$ при рассматриваемой схеме установки возможен перекос корпуса в плоскости XOY (рисунок 3.34). Угол перекоса оси определяется выражением (3.10):

$$tg\alpha = \frac{S_{1\max} + S_{2\max}}{2A_n} \quad (3.10)$$

где $S_{1\max}$, $S_{2\max}$ – максимально возможные зазоры в сопряжениях соответственно цилиндрического и срезанного пальцев с отверстиями I и II;

A_0 – расстояние между этими отверстиями.

Погрешность базирования корпуса в направлении оси Z равна нулю.

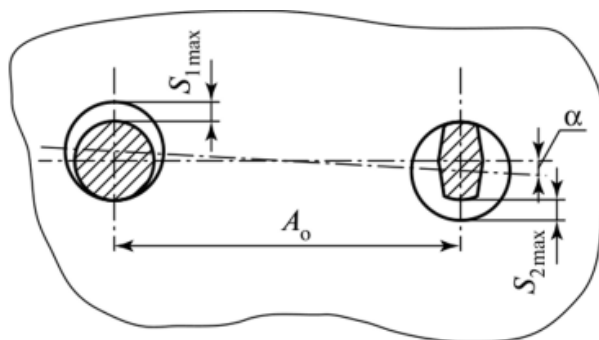


Рисунок 3.34 – Схема перекоса корпуса при установке на плоскость и два отверстия

Очевидно, что при растачивании отверстия III в корпусе на настроенном станке, когда инструмент занимает неизменное положение относительно оси цилиндрического пальца, получить размер A (рисунок 3.34) с погрешностью меньше погрешности базирования ε_{dx} невозможно. Отклонение от параллельности оси этого отверстия относительно, например, обработанных на предшествующей операции боковых плоскостей IV и V корпуса не может быть меньше его перекоса при базировании. На точность диаметра отверстия III погрешность базирования корпуса непосредственного влияния не оказывает, однако приводит к неравномерности припуска и образованию погрешностей формы этого отверстия. Таким образом, погрешность базирования заготовок приводит к погрешностям размеров, формы и расположения обработанных поверхностей.

Погрешности базирования корпуса можно избежать или, по крайней мере, сократить эту погрешность, если вместо жестких пальцев использовать в приспособлении подпружиненные конические (рисунок 3.35, а) или упруго-деформируемые (рисунок 3.35, б) пальцы.

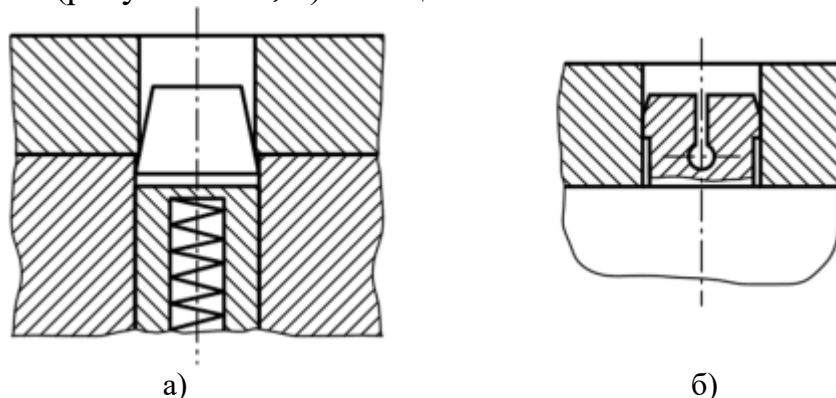


Рисунок 3.35 – Схемы установки заготовки отверстием на подпружиненный конический (а) и упруго-деформируемый (б) пальцы

На рисунке 3.36 показана схема установки втулки на жесткую цилиндрическую оправку (с зазором) для обработки наружной поверхности. Максимально возможный при обработке партии втулок эксцентриситет осей оправки и отверстия и представляет собой погрешность базирования втулки в радиальном направлении ε_{6z} . Погрешность базирования втулки в осевом направлении равна нулю.

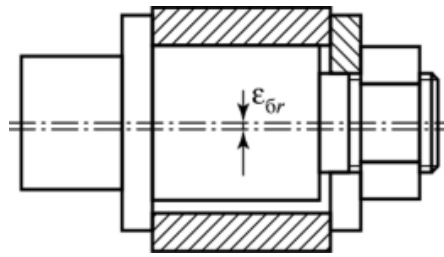


Рисунок 3.36 – Схема установки втулки на жесткую оправку

Вполне очевидно, что обеспечить радиальное биение наружной поверхности втулки относительно поверхности отверстия меньше $2\varepsilon_{gr}$ при данной схеме установки невозможно. На погрешность диаметра наружной поверхности втулки погрешность базирования непосредственного влияния не оказывает, но может вызвать погрешности формы этой поверхности.

Погрешность базирования втулки можно исключить следующим образом:

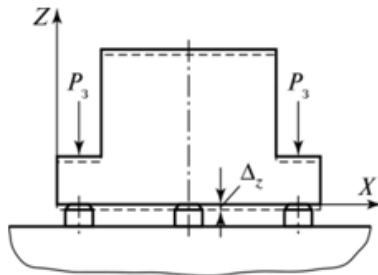
- установкой на коническую центровую оправку с малой конусностью;
- установкой на разжимную оправку;
- установкой на жесткую цилиндрическую оправку с гарантированным натягом.

Рассмотренный пример показывает, что при выборе схемы базирования заготовки нужно в первую очередь исходить из условия обеспечения точности расположения ее поверхностей, а затем уже – из условия обеспечения заданных размеров.

Погрешность закрепления. При закреплении положение заготовки, достигнутое при базировании, в той или иной степени изменяется – возникает погрешность закрепления. Эту погрешность можно рассматривать как отклонение технологических баз от установочных элементов приспособления, возникшее при закреплении. Причем это отклонение берется как наибольшее для партии заготовок.

Причинами образования погрешности закрепления являются:

- контактные деформации в стыках технологических баз с установочными элементами приспособления;
- погрешности формы технологических баз и поверхностей заготовки, с которыми взаимодействуют зажимные элементы приспособления;
- непостоянство сил закрепления и неодновременность их приложения.



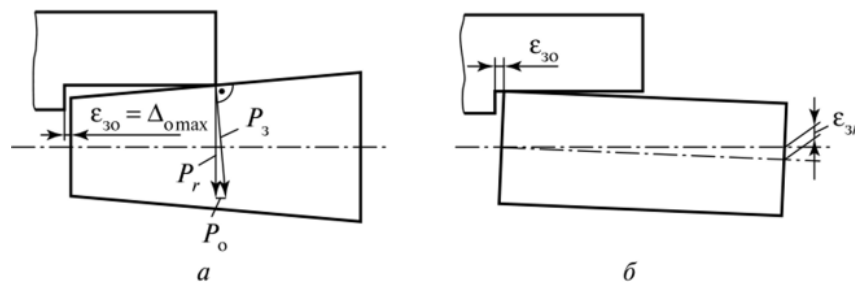
P_3 – сила закрепления

Рисунок 3.37 – Схема закрепления заготовки корпуса

На рисунке 3.37 показана схема закрепления заготовки корпуса. При закреплении происходят контактные деформации стыка нижняя плоскость корпуса – опорные штыри и корпус смещается вниз на величину Δ_z . При обработке (закреплении) партии корпусов из-за колебаний параметров шероховатости и волнистости нижней плоскости, а также сил закрепления величина Δ_z оказывается переменной. Разность между максимальным и минимальным

значениями этой величины и представляет собой погрешность закрепления корпуса в вертикальном направлении ε_{3r} . Следует отметить, что эта погрешность оказывает такое же влияние на точность обработки заготовки, как и погрешность базирования.

На рисунок 3.38 приведены схемы установки заготовки вала в трехкулачковом самоцентрирующем патроне. Из-за конусообразности заготовки (рисунок 3.38, а) при закреплении возникает осевая сила P_0 , которая вызывает ее смещение относительно патрона на величину Δ_0 . Это смещение при обработке (закреплении) партии заготовок может изменяться от нуля до некоторого максимального значения, которое и принято считать погрешностью закрепления в осевом направлении $\varepsilon_{30} = \Delta_{0\max}$.



а – при конусообразности цилиндрической поверхности вала;

б – при наличии погрешностей формы этой поверхности в осевом и поперечном сечениях

Рисунок 3.38 – Схемы закрепления заготовки вала в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне

Так как цилиндрическая поверхность заготовки обычно наделена отклонениями формы как в осевом, так и в поперечном сечениях, то при закреплении может сформироваться такая система сил, которая вызовет как осевое смещение заготовки, так и ее перекося относительно оси патрона. Таким образом возникают погрешности закрепления заготовки вала в осевом (ε_{30}) и радиальном (ε_{3r}) направлениях (рисунок 3.38, б).

Очевидно, что при подрезке торца заготовки вала на настроенном станке (когда резец занимает неизменное положение относительно выточки кулачков) выдержать размер до его левого торца (технологической базы) с погрешностью меньше ε_{30} невозможно. Погрешность закрепления ε_{3r} непосредственного влияния на точность диаметра заготовки при обтачивании не оказывает. Однако эта погрешность приводит к неравномерности припуска на обтачивание и может вызвать появление погрешностей формы обточенной поверхности.

При закреплении наряду со смещениями и перекосями заготовки относительно приспособления происходят и ее собственные деформации, которые также относятся к погрешностям закрепления. Эти деформации тесно связаны с погрешностями формы технологических баз заготовки.

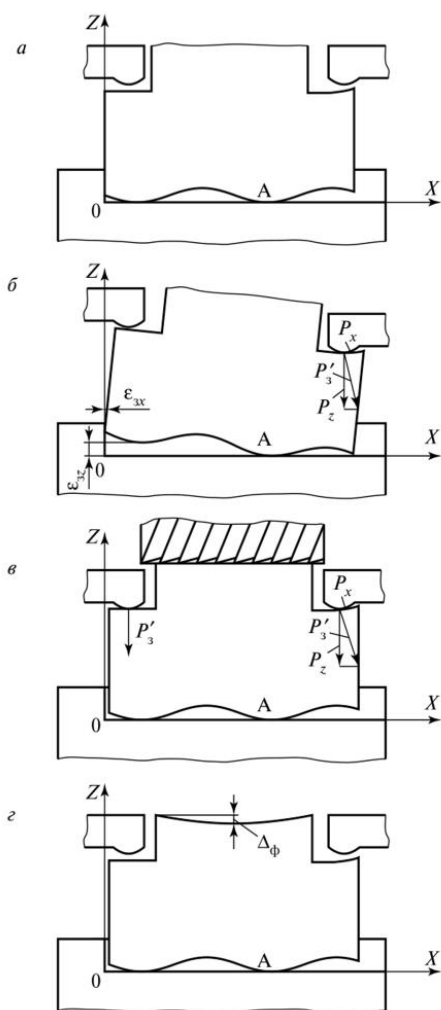


Рисунок 3.39 – Схема закрепления призматической заготовки

плоскости показана на рисунке 3.39, в. При раскреплении под действием сил упругости материала нижняя плоскость заготовки примет первоначальную форму. При этом обработанная верхняя плоскость приобретет соответствующую погрешность формы A_ϕ (рисунок 3.39, г).

Очевидно, что в рассмотренном примере деформации заготовки могут быть резко уменьшены, если силы закрепления приложить не параллельно, а перпендикулярно плоскости XOZ .

Основываясь на вышеизложенном, можно указать, что для сокращения погрешности закрепления необходимо:

- обеспечивать высокую точность и качество поверхностного слоя технологических баз;
- обеспечивать рациональное направление и точки приложения сил закрепления;
- стабилизировать значения сил закрепления путем использования механизированных приводов в приспособлениях.

Погрешность приспособления. Эта погрешность $\epsilon_{пр}$ является результатом неточностей изготовления приспособления и его установки на станке, а также неравномерного износа установочных элементов от многократного взаимодействия с заготовками.

На рисунке 3.39 дана схема закрепления призматической заготовки, осуществляемая с помощью прихватов.

Обработке (торцовому фрезерованию) подвергается верхняя плоскость заготовки. Ее нижняя плоскость, являющаяся установочной базой, и плоскость полок, с которой взаимодействуют прихваты, имеют погрешности формы. Положение заготовки после базирования показано на рисунке 3.39, а (точка А принадлежит заготовке). Предположим, что прихваты срабатывают неодновременно. Первым в работу вступает правый прихват. Под действием силы P' заготовка повернется относительно точки А. Одновременно она под действием этой силы (ее составляющей P_x) сместится вправо на величину $\epsilon_{3г}$ и займет положение, показанное на рисунке 3.39, б. При срабатывании левого прихвата заготовка при определенных условиях будет упруго деформирована силой P' на величину $\epsilon_{3г}$. Заготовка после закрепления и фрезерования верхней

Например, широко используемые трехкулачковые самоцентрирующие патроны при каждой установке на шпинделе станка занимают различные положения, которые колеблются в пределах зазора между посадочной шейкой шпинделя и посадочным отверстием в патроне. Вследствие этого заготовка, установленная в патроне, оказывается несоосной со шпинделем станка. Кулачки патрона из-за зазоров между ними и направляющими при закреплении заготовки перекашиваются. Это ведет к перекосу заготовки относительно шпинделя станка. При эксплуатации патрона установочные поверхности кулачков изнашиваются. Износ у разных кулачков может быть неодинаковым. Он также может сопровождаться образованием погрешностей формы указанных поверхностей. Все это увеличивает погрешность установки заготовок.

Для уменьшения рассматриваемой составляющей погрешности установки заготовок необходимо:

- повышать точность приспособлений и точность их установки на станке;
- использовать приспособления с минимальным числом подвижных сопряжений;
- выполнять обработку установочных поверхностей приспособлений непосредственно на том станке, для оснащения которого они предназначены.

Например, погрешность установки втулки на внутришлифовальном станке можно резко сократить, если вместо трехкулачкового самоцентрирующего патрона использовать мембранный патрон.

Погрешность закрепления заготовки представляет собой разность между наибольшей и наименьшей величиной проекций смещения измерительной базы на направление выполняемого размера при приложении к заготовке силы закрепления. Для партии заготовок погрешность закрепления равна нулю, если величина смещения постоянна. Согласно определению (3.11):

$$\varepsilon_z = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha, \quad (3.11)$$

где α – угол между направлением выполняемого размера и направлением смещения измерительной базы.

Погрешность закрепления ε_z для размеров А и В не равна 0 ($\alpha = 0$), а для размера Е: $\varepsilon_{zE} = 0$, т.к. боковая (измерительная) база перемещается при зажиме заготовки в собственной плоскости ($\alpha = 90^\circ$).

Погрешность закрепления, как и погрешность базирования не влияет на точность диаметров и размеров, связывающих обрабатываемые при данном установе поверхности, а также на точность формы обрабатываемых поверхностей.

Примеры значений погрешностей закрепления для некоторых типовых приспособлений:

- ε_z в тисках – 0,05 – 0,2 мм;
- прихватами – 0,01 – 0,2 мм;
- в кулачковом патроне – 0,04 – 0,1 мм;
- в цанговом патроне – 0,02 – 0,1 мм.

$\Delta_{\text{пр}}$ – погрешность положения заготовки, зависящая от приспособления (3.12):

$$\Delta_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{ус}} + \varepsilon_{\text{и}} \quad (3.12)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ – погрешность изготовления приспособления по выбранному параметру, зависящая от погрешности изготовления и сборки установочных и др. элементов приспособления;

$\varepsilon_{\text{ус}}$ – погрешность установки приспособления на станке (допустимая величина $\varepsilon_{\text{ус}} = 0,005 - 0,02$ мм);

$\varepsilon_{\text{и}}$ – погрешность положения заготовки, возникающая в результате изнашивания элементов приспособления. Эта величина зависит от программы выпуска изделий, их конструкции и размеров, материала и массы заготовки, состояния ее базовой поверхности.

При обработке плоскостных заготовок, а также торцовых поверхностей (уступов) тел вращения и при получении линейных размеров погрешности базирования, закрепления и приспособления являются векторами, лежащими на одной прямой и суммируются арифметически (3.13):

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\text{в}} + \varepsilon_{\text{з}} + \Delta_{\text{пр}}, \quad (3.13)$$

– обеспечивать рациональное направление и точки приложения сил закрепления;

– стабилизировать значения сил закрепления путем использования механизированных приводов в приспособлениях.

Погрешность приспособления. Эта погрешность $\varepsilon_{\text{пр}}$ является результатом неточностей изготовления приспособления и его установки на станке, а также неравномерного износа установочных элементов от многократного взаимодействия с заготовками.

Например, широко используемые трехкулачковые самоцентрирующие патроны при каждой установке на шпинделе станка занимают различные положения, которые колеблются в пределах зазора между посадочной шейкой шпинделя и посадочным отверстием в патроне. Вследствие этого заготовка, установленная в патроне, оказывается несоосной со шпинделем станка. Кулачки патрона из-за зазоров между ними и направляющими при закреплении заготовки перекашиваются. Это ведет к перекосу заготовки относительно шпинделя станка. При эксплуатации патрона установочные поверхности кулачков изнашиваются. Износ у разных кулачков может быть неодинаковым. Он также может сопровождаться образованием погрешностей формы указанных поверхностей. Все это увеличивает погрешность установки заготовок.

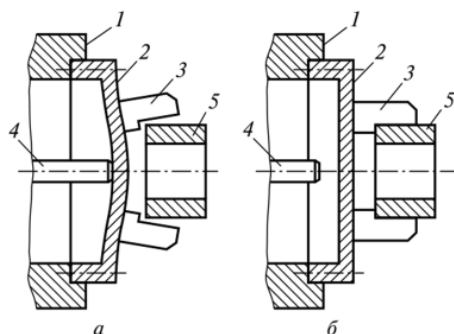
Для уменьшения рассматриваемой составляющей погрешности установки заготовок необходимо:

– повышать точность приспособлений и точность их установки на станке;
– использовать приспособления с минимальным числом подвижных сопряжений;

– выполнять обработку установочных поверхностей приспособлений непосредственно на том станке, для оснащения которого они предназначены.

Например, погрешность установки втулки на внутришлифовальном станке можно резко сократить, если вместо трехкулачкового самоцентрирующего патрона использовать мембранный патрон.

Простейший мембранный патрон (рисунок 3.40) состоит из планшайбы 1, мембраны 2 с большим количеством кулачков 3 и штока 4. При воздействии штока на мембрану последняя прогибается, а кулачки разводятся и обработанная втулка 5 извлекается из патрона (рисунок 3.40, а). Затем устанавливается следующая втулка, шток отводится влево и под действием сил упругости материала мембрана принимает первоначальную форму, а кулачки сводятся и зажимают втулку (рисунок 3.40, б).



а – с разведенными кулачками

б – со сведенными кулачками

Рисунок 3.40 – Мембранный патрон

После установки мембранного патрона на станок установочные поверхности его кулачков шлифуют на этом же станке. Это позволяет практически устранить влияние погрешности установки патрона на станке и износа его кулачков на точность установки заготовки.

Аналогичным образом поступают и в ряде других случаев. Так, трехкулачковые самоцентрирующие патроны оснащают «сырыми» кулачками, которые растачивают непосредственно на токарном станке. После установки электромагнитной плиты на плоскошлифовальный станок ее установочную плоскость в обязательном порядке шлифуют на этом же станке. Так же поступают при износе установочной плоскости этой плиты.

Установка заготовок с выверкой. Наряду с рассмотренной выше установкой заготовок в приспособлениях без выверки в условиях единичного и мелкосерийного производства широко используется установка с выверкой положения каждой заготовки по разметочным рискам или непосредственно по поверхности заготовки. На рисунке 3.41 показана схема выверки положения втулки на внутришлифовальном станке. Для обеспечения жесткого допуска радиального биения шлифуемого отверстия 1 относительно ранее прошлифованного отверстия 2 поступают следующим образом. С помощью прокладок 3 и неоднократного закрепления-раскрепления втулки добиваются допустимого радиального биения отверстия 2 относительно оси шпинделя бабки изделия. Это биение измеряют в двух сечениях отверстия 2 с помощью индикаторного устройства. После выверки производят шлифование отверстия 1.

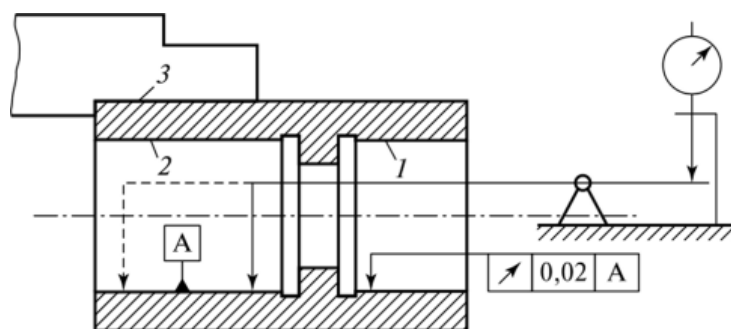


Рисунок 3.41 – Схема выверки положения втулки на внутришлифовальном станке

Погрешность установки заготовки с выверкой равна погрешности выверки. Например, если после выверки втулок радиальное биение отверстия 2 относительно оси шпинделя бабки изделия составляет до 0,01 мм, то погрешность установки втулок в радиальном направлении до 0,005 мм. При этом, включает в себя как погрешность закрепления, так и погрешность приспособления.

Необходимо отметить, что выверка позволяет обеспечить высокую точность установки заготовок, но является очень трудоемкой. Поэтому уже в условиях серийного производства установки заготовок с выверкой стараются избегать. Вместе с тем в отдельных случаях процесс выверки автоматизируют и эффективно используют установку заготовок сложной формы с выверкой в условиях крупносерийного производства.

Настройка технологической системы на выдерживаемые размеры. Методы настройки. Погрешности настройки и пути их уменьшения

Под **наладкой** (ГОСТ 3.1109-82) технологической системы понимают приведение ее в рабочее состояние, пригодное для использования при выполнении технологической операции.

Настройка (регулирование) технологической системы станка на размер, являясь частью наладки, включает согласованную установку режущего инструмента, рабочих органов станка, приспособления в положение, которое обеспечивает получение заданного размера с установленным допуском на изготовление.

Взаимное положение элементов технологической системы определяется «настроечным размером».

От качества настройки инструмента на размер в значительной степени зависит точность обработки. Технолог должен выбрать метод настройки, средства его реализации, рассчитать параметры настройки и внести эту информацию в технологическую документацию.

В настоящее время в условиях серийного и массового производства применяется партионный метод настройки инструментов (т.е. настройка на всю партию деталей). Этот способ обеспечения точности получил название «Способ автоматического получения размеров».

Существуют две разновидности данного метода:

– настройка инструментов по обработанным пробным партиям деталей (динамический метод);

– настройка инструментов по эталону и вне станка с использованием универсальных измерительных приборов (статический метод).

Кроме этого, для настройки инструментов могут использоваться самонастраивающиеся, адаптивные системы, а также системы автоматического регулирования размеров (САР). Это автоподналадчики, средства активного контроля с обратной связью и др.

Контроль точности настройки динамическим методом производится следующими видами инструмента:

а) универсальными измерительными инструментами (микрометры, штангенциркули, глубиномеры, миниметры и др.);

б) рабочими калибрами;

в) калибрами с уменьшенным полем допуска;

г) специальными наладочными калибрами.

Статическая настройка технологической системы заключается в установке режущих инструментов на заданный размер по калибрам и эталонам на неподвижном станке.

То есть настройка заключается в установке режущих инструментов на неработающем оборудовании (станок выключен) по детали-эталону или специальному калибру, которые располагаются на станке вместо обрабатываемой заготовки.

Настройка инструмента на заданный размер может выполняться как на станке, так и вне его.

Инструмент доводится до соприкосновения с поверхностью калибра и закрепляется. Одновременно, устанавливаются соответствующие упоры.

При настройке станка для обработки плоскостных заготовок в качестве установочного калибра часто используется **набор мерных плиток**.

В ряде случаев для установки инструментов применяются специальные установочные приспособления с индикаторными устройствами. Из-за наличия деформаций в упругой технологической системе, зависящих от действия сил резания, температурного режима системы и других факторов, размер обработанного изделия оказывается больше (для охватываемых поверхностей) или меньше (для охватывающих поверхностей) требуемого.

Для компенсации изменения фактических размеров обрабатываемых заготовок установочные калибры или эталонные детали при статической настройке изготавливаются с отступлением от чертежа заготовки на величину некоторой поправки $\Delta_{\text{попр}}$.

Пример статической настройки с использованием эталон-детали, приведен на рисунке 3.42.

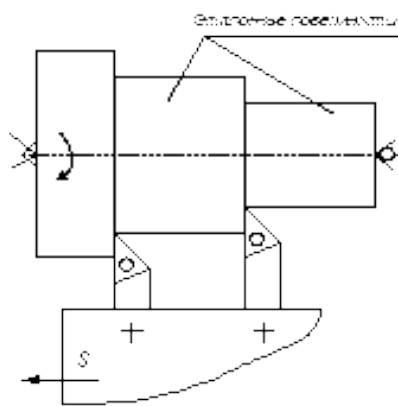


Рисунок 3.42 – Схема многоинструментальной статической настройки

Значительное сокращение трудоемкости настройки при установке инструментов по эталонам, особенно при многолезцовой обработке, предопределяет широкое распространение этого метода в крупносерийном и массовом производствах. К числу больших преимуществ этого метода следует отнести также возможность настройки инструментальных блоков по эталонам вне станка на специальных оптических устройствах, что существенно повышает точность настройки и сокращает простои станков при настройке.

Точность обработки заготовок при использовании статической настройки не превышает 8-9-го квалитетов. Это приводит к необходимости дополнять статическую настройку динамической, проводя добавочное регулирование положения инструментов и упоров при обработке первых заготовок партии.

Раздел IV. Понятие о качестве поверхностей деталей

Глава 4.1 Шероховатость поверхностей деталей, физико-механические свойства поверхностного слоя

Качество поверхностей деталей машин и заготовок

Поверхностный слой деталей машин, как в процессе изготовления, так и при эксплуатации воспринимает динамические и циклические воздействия, которые приводят к одно- или многократной упруго-пластической деформации, упрочнению или разупрочнению и последующему разрушению. При механической обработке заданное качество поверхности деталей машин обеспечивается подбором режимов обработки.

Поверхностный слой деталей машин при эксплуатации проходит три временных периода: приработка, установившийся и катастрофический износ. Если часть процесса приработки перенести на стадию изготовления, то при эксплуатации сокращается и увеличивается время установившегося износа, что приводит к увеличению долговечности и работоспособности деталей машин.

Под качеством поверхности детали (заготовки) понимают состояние ее поверхностного слоя как результат воздействия на него одного или нескольких последовательно применяемых технологических методов. Оно характеризуется шероховатостью, волнистостью, а также физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Шероховатость поверхностей

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине. ГОСТ 2789-73 – «Шероховатость поверхности».

Под волнистостью поверхности понимают совокупность периодически чередующихся неровностей с относительно большим шагом, превышающим принимаемую при измерении шероховатости базовую длину.

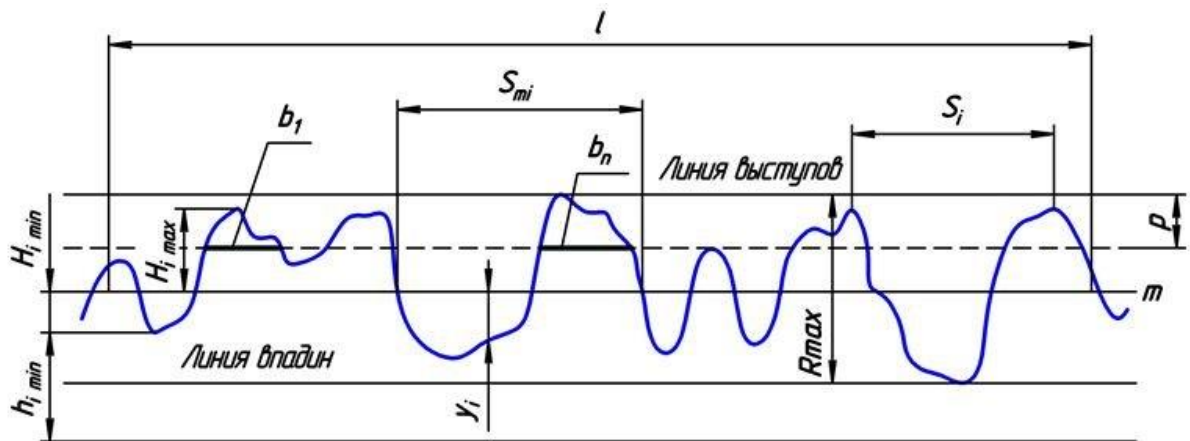


Рисунок 4.1 – Параметры неровностей

Исходя из соотношений указанных на рисунке 4.1 параметров неровностей можно вывести несколько основных типов шероховатости, которые мы указываем на чертеже:

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля;

R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам;

$P_{\max}$ – наибольшая высота профиля;

S_m – средний шаг неровностей;

S – средний шаг местных выступов профиля;

t_p – относительная опорная длина профиля, где p – значения уровня сечения профиля.

При указании шероховатости на чертеже предпочтительным является вариант R_a , о чем нам и сообщает ГОСТ.

Рассмотрим первые два варианта шероховатости R_a и R_z .

В случае с R_a численное ее выражение есть среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины, и формируется оно по формуле (4.1):

$$R_a = \frac{l}{n} \sum_{i=1}^n |y| \quad (4.1)$$

где l – базовая длина,

n – число выбранных точек профиля на базовой длине.

В случае с R_z берется сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины (4.2):

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{umi}|}{5} \quad (4.2)$$

где y_{pmi} – высота i -го наибольшего выступа профиля,
 y_{umi} – глубина i -й наибольшей впадины профиля.

Шероховатость и волнистость поверхности взаимосвязаны с точностью размеров. Высокой точности всегда отвечают малые шероховатость и волнистость поверхности.

В процессе эксплуатации машин качество поверхностей их деталей изменяется. Такие явления, как износ, образование и развитие микротрещин, задиры, коррозионное и эрозионное разрушения, питтинг, ухудшают качество поверхности; поэтому важно не только обеспечить требуемое качество поверхностей деталей машин в процессе производства, но и сохранить их постоянство на длительный срок эксплуатации машин.

Влияние шероховатости на работу деталей машин многообразно:

- шероховатость поверхности может нарушать характер сопряжения деталей за счет смятия или интенсивного износа выступов профиля;
- в стыковых соединениях из-за значительной шероховатости снижается жесткость стыков;
- шероховатость поверхности валов разрушает контактирующие с ними различного рода уплотнения;
- неровности, являясь концентраторами напряжений, снижают усталостную прочность деталей;
- шероховатость влияет на герметичность соединений, на качество гальванических и лакокрасочных покрытий;
- шероховатость влияет на точность измерения деталей;
- коррозия металла возникает и распространяется быстрее на грубо обработанных поверхностях и т. п.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются твёрдостью, структурно-фазовыми превращениями, величиной, знаком и глубиной распространения остаточных напряжений, наклёпом, плотностью дислокаций, поверхностной энергией.

К эксплуатационным характеристикам относятся износостойкость, усталостная прочность, предел выносливости, надёжность, долговечность, коэффициент трения, температура, герметичность.

Методы контроля шероховатости поверхностей

Шероховатость (класс шероховатости) поверхности оценивается путем измерения микронеровностей различными приборами, к числу которых относятся следующие основные: профилометры, профилографы, оптические приборы.



Рисунок 4.2 – Определение шероховатости

В производственных условиях шероховатость поверхности деталей часто оценивают путем сравнения их с эталонами чистоты, представляющими собой плоские или цилиндрические образцы, изготовленные из различных материалов (сталь, латунь и др.) с шероховатостью обработанных поверхностей, соответствующей разным классам шероховатости.

Эталон представляет собой небольшую металлическую плитку с габаритными размерами 30х30 мм и толщиной 5 мм. Он имеет определенное значение R_a и R_z , является образцом, по которому сравнивают качество поверхности. Такие плиты собирают в наборы с указанием напротив каждой позиции значение шероховатости.

Используя визуальный осмотр можно достаточно точно дать характеристику поверхностного слоя при характеристиках $R_a = 0,6-0,8$ мкм и выше.

Обеспечение заданного качества машин и длительное сохранение его во многом зависит от качества поверхностей их деталей.

Влияние шероховатости поверхностей сопряженных деталей на их износ в основном проявляется в процессе приработки. В период нормальной эксплуатации износ определяется физико-механическими свойствами поверхностного слоя и режимами работы трущейся пары (скоростью скольжения, нагрузкой, характером смазки). Особенно большой износ наблюдается при частых пусках машин, когда нарушается режим смазки поверхностей трения. Нередко это связано с их задирами и схватыванием.

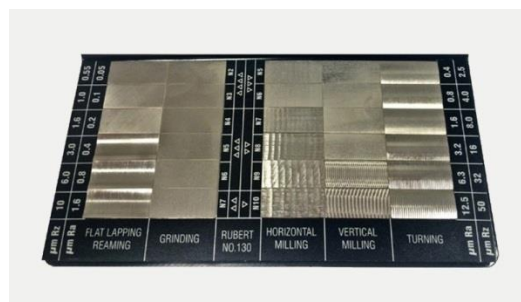


Рисунок 4.3 – Образцы шероховатости поверхности

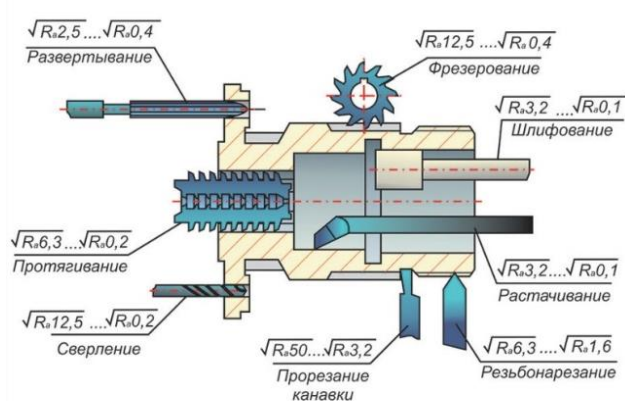


Рисунок 4.4 – Выбор параметров шероховатости поверхности

№ п/п	Тип направлений неровностей	Схематическое изображение	Обозначение	№ п/п	Тип направлений неровностей	Схематическое изображение	Обозначение
1	Параллельное			4	Произвольное		
2	Перпендикулярное			5	Кругообразное		
3	Перекрещивающееся			6	Радиальное		

Рисунок 4.5 – Обозначение неровностей

Взаимосвязь точности и шероховатости

Различные методы обработки по-разному влияют на качество поверхности.

Обозначения направления шероховатости поверхности на чертежах

Таблица 4.1 – Характеристики точности и качества, характерные для различных способов обработки резанием

№ п/п	Вид обработки	Точность размеров формы	Качество поверхности
Квалитет	степень точности	R _a мкм	
Доводка	3-4	0,08-0,01	
Суперфиниширование	3-4	0,16-0,01	
Хонингование	3-4	0,63-0,01	
Полирование	Предшествующ.	Пр.обработка	0,63-0,02
Тонкое точение – строгание – шлифование – фрезерование – растачивание	5-6	5-6 6-7 3-4 6-7 5-6	1,25-0,32 6,3-1,2 0,63-0,16 1,6 1,25-0,32
Чистовое шлифование – фрезерование – точение – растачивание – строгание – развертывание – зенкерование	5-6 6-7 5-6 5-7 6-7	6-7 8-9 8-9 6-7 9-10	1,25-0,63 6,3-3,2 10-1,25 5-2,5 6,3-3,2 1,25-0,32 6,3-3,2
Черновое точение – шлифование – растачивание – сверление – зенкерование – развертывание – фрезерование – строгание – долбление	9-10 7-9 7-9 11-13 10-11 7-9	6-7 9-10 13-15 8-10 7-9 9-10 9-10 9-10	40-20 2,5-1,25 80-50 25-5 25-12,5 2,5-1,25 50-25 25-12,5 25-12,5
Сверление по кондуктору	11-12	8-9	25-6,3
Координатное растачивание	4-5	1,25-0,32	
Нарезание резьбы: метчиком (плашкой) резцом фрезой	10-5 5-1,25 5-1,6		

В зависимости от вида обработки используемого для получения той или иной поверхности детали возможные значения параметров шероховатости приведены в таблице.

Таблица 4.2 – Параметры шероховатости

Класс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	В ячейках сверху указаны классы шероховатости для сопоставления с новым стандартом													
R_a	100	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,08	0,025	0,01
R_z	400	200	100	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05
Пескоструйная обработка	R _a 400													
Ковка в штампах	R _a 400	R _a 200	R _a 100											
Отпиливание	R _a 400													
Сверление			R _a 100	R _a 50	R _a 25									
Зенкерование черновое			R _a 100	R _a 50	R _a 25									
Зенкерование чистовое				R _a 50	R _a 25	3,2	1,6							
Развертывание нормальное						3,2	1,6	0,8						
Развертывание точное							1,6	0,8	0,4					
Развертывание тонкое								0,8	0,4	0,2				
Протягивание					R _a 25	3,2	1,6	0,8	0,4					
Точение черновое	R _a 400	R _a 200	R _a 100	R _a 50										
Точение чистовое			R _a 100	R _a 50	R _a 25	3,2	1,6	0,8						
Точение тонкое						3,2	1,6	0,8	0,4					
Строгание предварительное	R _a 400	R _a 200	R _a 100	R _a 50										
Строгание чистовое			R _a 100	R _a 50	R _a 25	3,2	1,6							
Строгание тонкое							1,6	0,8						
Фрезерование предварительное		R _a 200	R _a 100	R _a 50	R _a 25									
Фрезерование чистовое					R _a 25	3,2	1,6							
Фрезерование тонкое						3,2	1,6	0,8						
Шлифование предварительное					R _a 25	3,2	1,6							
Шлифование чистовое							1,6	0,8	0,4					
Шлифование тонкое									0,4	0,2				
Шлифование - отделка											0,1	0,08	R _a 0,1	R _a 0,05
Притирка грубая								0,8	0,4					
Притирка средняя									0,4	0,2	0,1			
Притирка тонкая											0,1	0,08	R _a 0,1	R _a 0,05
Хонингование нормальное							1,6	0,8	0,4	0,2				
Хонингование зеркальное									0,4	0,2	0,1	0,08		
Шабрение						3,2	1,6	0,8						
Прокатка				R _a 50	R _a 25	3,2	1,6	0,8						
Литье в кокиль	R _a 400	R _a 200	R _a 100	R _a 50										
Литье под давлением	R _a 400	R _a 200	R _a 100	R _a 50	R _a 25	3,2								
Литье прецизионное				R _a 50	R _a 25	3,2	1,6							

Для достижения заданного взаимного расположения поверхностей, формы и размеров деталей, их шероховатости и физико-механических свойств при производстве машиностроительной продукции применяют различные методы обработки: резание лезвийным и абразивным инструментами; поверхностное пластическое деформирование; электрофизические, электрохимические и другие методы.

По мере приближения размера обрабатываемой поверхности к заданному размеру по чертежу обработка заготовки может быть нескольких видов: обдирочная, черновая, получистовая, чистовая, тонкая, отделочная.

Раздел V. Производственный и технологический процессы

Глава 5.1 Типы производства и их характеристики

В зависимости от размера программы выпуска характера продукции различают 3 типа производства: единичное, серийное, массовое.

Единичное – производство, при котором изделия изготавливаются единичными экземплярами, разнообразными по конструкции и размерам. Поэтому в единичном производстве производительность труда ниже, чем в серийном и массовом, а себестоимость продукции выше.

Коэффициент закрепления операций – это отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест. Для мелкосерийного производства $K_{30} = 20 \dots 40$.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом их выпуска.

На предприятиях с единичным производством применяют преимущественно универсальное оборудование, расположенное в цехах по групповому признаку. Обработку ведут стандартным режущим, а контроль – универсальным измерительным инструментом (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Универсальный измерительный инструмент

Рабочие места заняты выполнением различных операций над разнообразными деталями. На каждой единице универсального оборудования выполняется большое число операций над одной деталью. Количество наименований деталей, обрабатываемых в течение смены, может достигать нескольких единиц.

Серийное производство является основным типом производства в машиностроении. На его долю приходится 80% всей продукции

машиностроения. Коэффициент закрепления операций для среднесерийного производства $K_{30} = 10 \dots 20$.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуском. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

На предприятиях серийного производства значительная часть оборудования состоит из универсальных станков, оснащенных как специальными, так и универсально-наладочными и универсально-сборочными приспособлениями, что позволяет снизить трудоемкость и удешевить производство. В серийном производстве применяют также переменнo-поточную форму организации работ.



Рисунок 5.2 – Обработка детали

Рабочие места заняты выполнением закрепленных за ними нескольких операций над одинаковыми деталями или одной операции над деталями разного наименования в определенной последовательности. В этом случае на единицу оборудования приходится значительное количество операций. Перестройка оборудования с операции на операцию или с детали на деталь может происходить ежедневно.

Массовое производство характеризуется большим объемом выпуска одинаковых изделий. Коэффициент закрепления операций $K_{30} = 1$, т.е. на каждом рабочем месте выполняется одна постоянно повторяющаяся операция. При этом используются специальное высокопроизводительное оборудование, которое устанавливается в соответствующем поточном порядке и связывается транспортирующими устройствами, с постами автоматического контроля.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени. Коэффициент закрепления операций в этом типе производства принимают равным 1.

Высшей формой массового производства является производство с непрерывным потоком, когда длительность выполнения всех операций на технологической линии равны или кратны, что позволяет производить обработку без заделов в строго определенные промежутки времени. Интервал

времени, через который периодически производится выпуск изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, называется тактом выпуска и подсчитывается по формуле 5.1:

$$t = \Phi_{\text{э}} \cdot 60 / \Pi, \quad (5.1)$$

где t – такт, мин.;

$\Phi_{\text{э}}$ – эффективный фонд производственного времени рабочего места, участка или цеха, ч.;

Π – годовая программа выпуска рабочего места, участка или цеха, шт.

Рабочие места постоянно загружены обработкой одной и той же детали на одной или нескольких единицах одинакового оборудования, выполняющих одну и ту же операцию (рисунок 5.3).

Тип производства (таблица 5.1) на этапе проектирования определяется ориентировочно, можно исходить из массы деталей и объема производства.



Рисунок 5.3 – Рабочее место на предприятии

Таблица 5.1 – Типы производства

Масса детали (кг)	Тип производства				
	Единичное	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное	Массовое
< 1,0	< 10	10-2000	1500 – 100000	75000 – 200000	> 200000
1,0 – 2,5	< 10	10-1000	1000 – 50000	50000 – 100000	> 100000
2,5 – 5,0	< 10	10-500	500 – 35000	35000 – 75000	> 75000
5,0 – 1,0	< 10	10-300	300 – 25000	25000 – 50000	> 50000
> 1,0	< 10	10-200	200 – 10000	10000 – 25000	> 25000

Типизация технологических процессов и групповая обработка деталей

Одним из прогрессивных направлений совершенствования технологии серийного машиностроительного производства является типизация технологических процессов (ТП) обработки отдельных поверхностей, типовых сочетаний поверхностей и изготовления деталей в целом.

Работу по типизации ТП начинают с проведения классификации, позволяющей привести всё многообразие заготовок, поверхностей и их сочетаний к минимальному количеству типов, для которых можно разработать типовые ТП обработки. При этом признаки, заложенные в основу классификации, должны удовлетворять условиям, при которых обработка поверхностей, их сочетаний или заготовок могла быть осуществлена по одному и тому же ТП.

Признаками для классификации элементарных поверхностей являются: форма поверхности, размеры, материал изделия, требуемая точность обработки, качество поверхностного слоя.

Под типовыми сочетаниями поверхностей будем понимать сочетание поверхностей, встречающихся у различных заготовок, при котором все

элементарные поверхности могут быть обработаны при неизменной технологической базе, одинаковой последовательности операций, установок и переходов на одних и тех же станках, одинаковыми инструментами.

Признаки для классификации типовых сочетаний поверхностей следующие: конфигурация, размеры и точность обработки отдельных поверхностей; материал обрабатываемой заготовки; соотношение размеров отдельных поверхностей и точность их взаимного расположения.

Типизация ТП позволяет:

- 1) свести огромное количество процессов к минимуму и внести единообразие в обработку сходных деталей;
- 2) использовать наиболее прогрессивные технологические решения (ТР) и сократить сроки технологической подготовки производства (ТПП);
- 3) уменьшить количество типов специального оборудования и оснастки и создавать их на базе типовых схем и унифицированных узлов, используя принцип агрегатирования.

Документация типовых ТП включает в себя классификатор деталей и карты типовых процессов обработки. Карты содержат подробные данные о ТП и отдельных операциях: эскиз заготовки с предельными габаритными размерами, материал, точность обработки и качество поверхностного слоя, последовательность и содержание переходов, оборудование, приспособления и инструменты, режимы обработки, нормы времени (для режимов и норм времени должны быть указаны пределы их изменений для разных размеров заготовок). Типовую технологию в условиях завода разрабатывают в двух вариантах: рабочем, составленном на основании имеющегося оборудования и условий завода, и перспективном, учитывающем все возможности современных видов обработки, новейшего оборудования и прогрессивных методов организации производства.

Сокращение числа техпроцессов и разработка общих принципов их проектирования могут быть осуществлены на основе типизации техпроцессов, базирующейся на классификации деталей по конструктивно-технологической однородности.

Идея типизации техпроцессов в машиностроении принадлежит проф. А.П. Соколовскому (15 классов деталей).

Основы типизации технологических процессов были заложены в конце 30-х годов профессором А.П. Соколовским. Работу по типизации технологических процессов разбивают на два этапа. Первым этапом типизации технологических процессов является классификация деталей машин. А.П. Соколовский считал, что главными признаками классификации являются: форма (конфигурация) детали; точность и качество обработанных поверхностей; материал деталей, объём выпуска и общую производственную обстановку.

Классификация построена по схеме: вид-класс-подкласс-группа-подгруппа-тип.

Все детали машин он разделил на три основных вида: детали вращения, многоосные детали, плоскостные детали. Эти три вида подразделяются на 15 классов, внутри каждого класса детали делятся на группы, подгруппы и типы,

причем на каждой классификационной ступени усиливается идентичность объединенных деталей.

Применительно к производству и ремонту деталей автомобилей более удобной является классификация проф. Ф. С. Демьянюка, который разработал классификатор состоящий из шести классов:

I класс – корпусные детали: блоки цилиндров, картеры коробок передач, задних мостов, масляных насосов, крышки блоков, подшипников, коробок передач, с стойки, кронштейны и др.

II класс – круглые стержни (валы): валы гладкие, ступенчатые, коленчатые и кулачковые, с фланцами, шестернями, крестовины карданных валов, тормозные кулаки и др.

III класс – полые цилиндры (втулки): ступицы, колес, чашки сателлитов, гильзы, втулки, вкладыши подшипников и др.

IV класс – диски: шкивы, маховики, колеса, диски сцепления, тормозные барабаны, плоские цилиндрические и конические шестерни и др.

V класс – некруглые стержни (рычаги): лонжероны рам, балки передних осей, шатуны двигателей, рычаги всех видов, вилка: переключения коробок передач, тормозные колодки и др.

VI класс – крепежные детали: гайки, болты, шпильки, шпонки, шайбы и т.д.

Каждый из указанных 6-ти классов делится на группы в зависимости от разрядов деталей.

Каждому классу деталей присущи свои способы получения заготовок, методы базирования и последовательность операций обработки.

I класс – корпусные детали:

- 1) заготовка – отливка из серого, ковкого чугуна и цветных металлов;
- 2) базирование – по основной плоскости и двум отверстиям;
- 3) черновая и чистовая обработка плоскостей;
- 4) черновое и чистовое растачивание основных отверстий;
- 5) обработка небольших плоскостей, сверление и нарезание резьбы в мелких отверстиях (второстепенные операции);
- 6) гидравлическое испытание;
- 7) доводка основных плоскостей и отверстий.

II класс – круглые стержни (валы):

- 1) заготовка – из прутка или трубы, штамповка, иногда отливка;
- 2) базирование – в центрах или по шейкам;
- 3) черновая и чистовая обточки одной, затем второй стороны. Обработка фасонных поверхностей;
- 4) обработка второстепенных поверхностей;
- 5) термообработка;
- 6) шлифование шеек, отверстий;
- 7) балансировка;
- 8) доводка основных поверхностей.

III класс – полые цилиндры (втулки):

- 1) заготовка – отливка, штамповка, из трубы, листа или ленты;

- 2) базирование по наружной или внутренней поверхности и торцу;
- 3) черновая и чистовая обработка наружной и внутренней поверхностей и торцов с одной, затем с другой стороны;
- 4) выполнение второстепенных операций;
- 5) окончательная обработка внутренней, затем наружной поверхностей;
- 6) доводка точных размеров.

IV класс – диски:

- 1) заготовка – литье, горячая и холодная штамповки, заготовка из прутка или трубы;
- 2) базирование по наружной или внутренней поверхности и торцу;
- 3) обработка торца и части внутренней и наружной цилиндрических поверхностей с одной, затем с другой стороны, начерно и начисто;
- 4) обработка фасонных поверхностей;
- 5) выполнение второстепенных операций;
- 6) термообработка;
- 7) отделка точных торцовых и внутренних поверхностей;
- 8) отделка фасонных поверхностей.

V класс – некруглые стержни (рычаги):

- 1) заготовка – литье, горячая штамповка, штамповка из листа;
- 2) базирование – по стержню и головке, затем по отверстию и обработанной поверхности головки;
- 3) черновая и чистовая обработка части плоскостей;
- 4) сверление и растачивание основных поверхностей;
- 5) выполнение второстепенных мелких операций и обработка нерабочего профиля;
- 6) отделка основных отверстий и их торцов.

VI класс – крепежные детали:

- 1) заготовка – прутки;
- 2) базирование – по наружной цилиндрической или многогранной поверхности;
- 3) точение или высадка на автомате;
- 4) доделочные операции на резьбонарезных, резьбонакатных, фрезерных и сверлильных станках.

Групповая обработка может ограничиваться отдельными групповыми операциями или применяться для построения группового ТП обработки заготовок в целом.

При проектировании отдельных групповых операций **группой** называют совокупность заготовок, характеризуемых общностью оборудования, технологической оснастки, наладки и технологических переходов. Группу заготовок создают для выполнения операции на одном и том же станке при его неизменной наладке. В отдельных случаях при переходе к обработке другой заготовки данной группы допускается незначительная подналадка станка (замена режущего инструмента, сменных установочных или зажимных элементов группового приспособления, перестановка линейных и

диаметральных упоров и т.п.), которая должна быть осуществлена с минимальной затратой времени.

Совокупность групповых технологических операций, обеспечивающих обработку различных заготовок группы (или несколько групп) по общему маршруту, представляет собой групповой ТП. В этом случае некоторые заготовки или их группы могут пропускать отдельные операции.

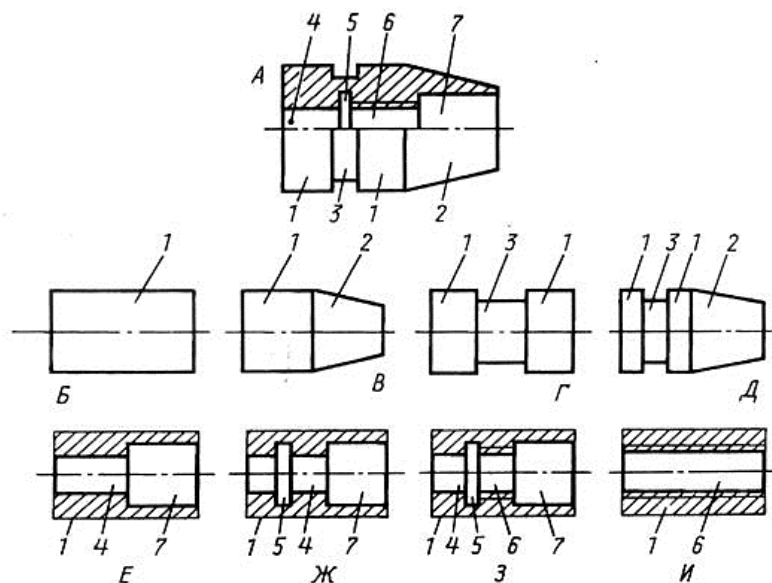
Проектирование групповой технологии требует выполнение ряда последовательных процедур:

1) по чертежам изделия завода отбирают детали, которые могут быть изготовлены на одинаковом оборудовании при установке в однотипных приспособлениях с применением одинакового инструмента, при этом учитывают фактическую трудоёмкость обработки отобранных заготовок (деталей) в количестве, обеспечивающем полное выполнение программы в течение определённого планового периода (месяца, квартала, года);

2) устанавливают окончательный состав группы заготовок, обеспечивающий загрузку оборудования в течение выбранного планового периода при минимальных затратах времени на его переналадку для обработки других групп заготовок.

3) создают комплексную деталь, устанавливают последовательность и содержание переходов групповой операции и разрабатывают схему групповой наладки станка.

Наладку станка разрабатывают для наиболее сложной детали группы, включающей в себя все поверхности, встречающиеся у отдельных деталей группы. В случае, когда такая деталь в группе отсутствует, создают комплексную деталь, т.е. реальную или условную (искусственно созданную) деталь, содержащую все основные элементы, характерные для деталей данной группы, и являющуюся их конструкторско-технологическим представителем.



А – комплексная деталь; Б – И – группа деталей;

1 – 7 – сочетание элементарных обрабатываемых поверхностей

4) проектируют и изготавливают групповую оснастку (приспособления и инструмент)

Рисунок 5.4 – Формирование комплексной детали

Безопасность технологических процессов и производств

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вероятность воздействия на рабочих опасных производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Промышленная безопасность – это состояние защищенности от аварий на ОПО и последствий указанных аварий.

Под **безопасностью** понимают такой уровень опасности, с которым на данном этапе научного и экономического развития можно смириться. Иными словами безопасность – это приемлемый риск.

Под понятием **опасность** понимаются любые явления, угрожающие жизни и здоровью человека.

Требования безопасности, предъявляемые к технологическим процессам

Согласно ГОСТ 12.3.002-75* «ССБТ. ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ.

Обеспечивается благодаря выбору:

- оптимальных и безопасных технологических процессов, приемов, режима труда и порядка обслуживания производственного оборудования;
- производственных помещений, уровни, которых не превышают установленных санитарно-гигиеническими нормами величин;
- оптимальных производственных площадок для проведения процессов, выполняемых вне производственных помещений;
- исходных материалов, заготовок и полуфабрикатов, не оказывающих вредного воздействия на работающих, а в случае необходимости использования вредных компонентов – применению соответствующих средств защиты людей;
- производственные процессы должны быть пожаро- и взрывобезопасными;
- безопасному размещению оборудования и организации рабочих мест;
- механизации и автоматизации производственного процесса;
- безопасному хранению и транспортировке исходных материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовой продукции и отходов производства;
- профессиональному отбору и обучению работающих;
- применению средств защиты.

Раздел VI. Проектирование технологических процессов обработки деталей машин

Глава 6.1 Разработка технологических операций

Разработка технологических операций

Последовательность выполнения этапов при разработке технологического процесса механической обработкой детали выработана длительным опытом технологов. Это не строгое выполнение последовательности работ, а всестороннее рассмотрение различных аспектов технологического процесса с возвратом к выполненным предыдущим этапам.

Структура технологических процессов (ТП)

Технологический процесс имеет следующие составные части:

- технологические операции;
- установы;
- переходы;
- позиции;
- ходы;
- приемы.

Технологическая операция – это часть ТП, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, включая все последовательные действия рабочего и оборудования, направленные на качественные изменения объекта производства. Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной ею работы без перехода к обработке другого изделия. Например, обработка ступенчатого вала на токарном станке с переустановкой является одной операцией, если между переустановками нет перерыва для обработки других заготовок партии. Если все заготовки обрабатываются сначала с одного конца, а затем – с другого, то это 2 разные операции. Таким образом, состав операции устанавливают не только на основе технологических соображений, но и с учетом организационной целесообразности.

Наименования операции получают по наименованию применяемого оборудования. Например, токарно-винторезная, радиально-сверлильная операции.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяется трудоемкость изготовления изделий, устанавливаются нормы времени и расценки; задается требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструментов; определяется себестоимость обработки; производится календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков выполнения работ.

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

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

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

Рабочий ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемая изменением формы, размеров, качества поверхности и свойства заготовки. Например: снятие одного слоя металла на строгальном станке.

При составлении ТП каждой операции присваивают порядковый номер (обычно трехзначный). Номер последующей операции увеличивают на 5. Например: 005, 010, 015 и т.д. содержание переходов формируют в соответствии с ГОСТ 3.1702-83. Для более ясного и полного представления плана и способа обработки детали документация на ТП иллюстрируется графическими изображениями (эскизами) переходов, установов.

Выбор последовательности переходов в операции и средств их технологического оснащения

Производительность технологических операций в значительной степени зависит от их структуры, которая определяется следующими параметрами:

- числом заготовок, одновременно устанавливаемых в приспособлении или на станке (одно- или многоместная обработка);
- числом инструментов, используемых при выполнении операции (одно- или многоинструментная обработка);
- последовательностью работы инструментов при выполнении операции (последовательность переходов).

Последовательное вступление инструментов в работу или последовательное расположение нескольких заготовок в приспособлении по направлению движения подачи характеризует структуру операции с **последовательной обработкой**. При параллельном расположении обрабатываемых заготовок в приспособлении (т.е. при их расположении перпендикулярно к направлению движения подачи) и при одновременной обработке нескольких поверхностей одной или нескольких заготовок формируется структура операции с **параллельной обработкой**. При многоместной обработке заготовок, расположенных в приспособлении в несколько рядов вдоль и поперек движения подачи, операция характеризуется как операция с **параллельно-последовательной обработкой**.

Экономическая эффективность технологических процессов обработки деталей в значительной степени зависит от того, насколько рационально построен общий план (маршрут) обработки. Под **технологическим маршрутом изготовления детали** понимается последовательность выполнения технологических операций (или уточнение последовательности по типовому или групповому процессу) с определением содержания операций, выбором оборудования и технологической оснастки для их выполнения.

Технологические маршруты весьма разнообразны и зависят от многих факторов: конфигурации детали, ее размеров, точности, наличия термической обработки, программы выпуска и др. Вместе с тем для качественного проектирования маршрута могут быть рекомендованы некоторые общие принципы, характерные для всех классов обрабатываемых деталей:

1. На первых (одной-двух) операциях обрабатывают поверхности, которые будут использоваться в качестве технологических баз на всех или большинстве операций технологического процесса.

2. Используя чистовые базы, обрабатывают остальные поверхности в последовательности, обратной их степени точности, т.е. чем точнее должна быть обработана поверхность, тем позже ее обрабатывают.

3. Используя разработанные ранее маршруты обработки отдельных поверхностей, выявляют необходимость расчленения процессов изготовления детали на стадии обработки. *Стадия обработки* – это часть технологического процесса, включающая однородную по характеру и точности обработку различных поверхностей и детали в целом. При механической обработке такими стадиями являются черновая, чистовая, тонкая и отделочная (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Выбор стадий обработки поверхностей в зависимости от требований по точности и шероховатости

Требуемые квалитет/Ra (Rz), мкм	Стадии обработки
12/(80)	1
10/(20)	1, 2
7/1,25	1, 2, 3
6/0,63	1, 2, 3, 4
Примечание. В числителе – квалитет, в знаменателе – шероховатость; цифрами обозначены стадии обработки: 1 – черновая, 2 – чистовая, 3 – тонкая, 4 – отделочная.	

Целесообразность разделения технологического процесса на стадии обработки обусловлена необходимостью получения деталей заданной точности и рационального использования оборудования, так как это связано с числом и содержанием операций технологического процесса. На каждой стадии выполняют операции, обеспечивающие примерно одинаковую точность обработки. Таким образом, на первых стадиях совмещают окончательную обработку неточных поверхностей и предварительную обработку точных поверхностей, а окончательную обработку точных поверхностей (тонкую и отделочную) проводят в конце технологического процесса.

Такое разделение процесса по стадиям позволяет выделить **технологические комплексы поверхностей**, которые следует обрабатывать совместно, используя принцип единства баз, т.е. с одной установки. В такие комплексы обычно включают поверхности, связанные допусками на взаимное положение (биение, соосность, координатные размеры). Рационально также создавать технологические комплексы по экономическому принципу, добиваясь сокращения оперативного времени за счет последовательной и параллельной концентрации операций.

4. Вспомогательные поверхности (мелкие отверстия, фаски, галтели, пазы и др.) обычно обрабатывают на чистовой стадии. В самостоятельные операции выделяют обработку зубьев, шлицев, групп отверстий или пазов.

5. Предварительное содержание операций устанавливают объединением тех переходов на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на одном станке. На этом этапе проектирования устанавливают тип, размеры и модели оборудования для выполнения основных операций технологического процесса в зависимости от типа, габаритных размеров детали и заданного масштаба выпуска.

При выборе оборудования обычно ориентируются для единичного производства на универсальные станки, для серийного – на универсальные станки, станки с ЧПУ и полуавтоматы, для крупносерийного и массового – на полуавтоматы, автоматы и автоматические линии.

6. Операции механической обработки увязывают с операциями термической и химико-термической обработок. Промежуточная термическая обработка при необходимости применяется после черновой стадии и заключается в нормализации стальных деталей для улучшения их обрабатываемости на чистовых операциях, а также для старения отливок в целях снятия остаточных напряжений в металле заготовки.

Окончательную термическую обработку выполняют в виде объемной или поверхностной закалки. Если окончательная термическая обработка заключается в объемной закалке детали до твердости выше $HRC_3 40$, то эту операцию выполняют после чистовой обработки до шлифования. При необходимости цементации с последующей закалкой отдельных поверхностей детали применяют защитное омеднение тех поверхностей, которые не подлежат цементации, или оставляют на них припуск, который снимают при дополнительной обработке после цементации, но до закалки.

7. В **маршрутный технологический процесс** включают второстепенные операции (обработку крепежных отверстий, слесарные работы, промывку и т.п.), а также контрольные операции.

Применение станков с ЧПУ в сравнении с обычным оборудованием создает ряд технико-экономических преимуществ.

Производительность этих станков выше производительности станков того же типа, но без программного управления, в три раза, потребность же в производственных площадях в три раза меньше. Значительно вырастает производительность труда у рабочих.

Большой эффект дают станки с ЧПУ при выполнении особо сложных операций, поэтому с их использованием высвобождаются высококвалифицированные рабочие, а также резко сокращаются затраты на технологическую подготовку производства, эксплуатацию инструмента, содержание контролеров ОТК.

В современных условиях широко распространяется такой вид программного оборудования, как обрабатывающие центры. Они представляют собой многооперационные станки с автоматической сменой инструмента.

Одним из условий достижения высоких экономических показателей эксплуатации станков с ЧПУ является формирование целесообразной номенклатуры обрабатываемых деталей.

Практика эксплуатации станков с ЧПУ показала, что эффективная их работа возможна при построении специальной организационной структуры, сориентированной на изменения, которые вносит появление в парке оборудования станков с ЧПУ. Такая структура должна включать производственные цехи и участки, подразделения экономического обслуживания, специализированную технологическую службу.

Расчет припусков на обработку

Цель установления маршрута обработки и метода обработки – обеспечить наиболее рациональный процесс обработки детали. В маршруте указывается последовательность выполнения технологических операций, и по каждой операции устанавливается метод обработки, используемое оборудование, применяемое приспособление, рабочий и измерительный инструмент, режимы обработки, нормы времени, квалификация работы.

План должен предусматривать расчленение технологического процесса обработки на составные части: операции, установки, позиции, переходы, проходы, а в необходимых случаях и приемы.

Расчет припусков на обработку включает:

- факторы, определяющие величину минимального припуска;
- методы определения припусков.

Любая заготовка, если она в дальнейшем подвергается механической обработке, изготавливается с припуском. Что же понимается под припуском на механическую обработку?

Под припуском на механическую обработку понимается слой материала, который необходимо удалить в процессе обработки с целью получения заданной точности размеров, формы и шероховатости поверхности готовой детали. Исходя из определения следует, что поверхности, которые не обрабатываются, припусков не имеют. Величину общего припуска на обрабатываемую поверхность определяет разность между размерами заготовки и готовой детали.

Различают общие припуски и межоперационные. Общий припуск – слой материала, снимаемый в процессе всей обработки, а межоперационный – за

одну операцию. Нетрудно выяснить, что общий припуск на обработку будет определяться суммой межоперационных припусков.

По расположению припуски различают симметричные и асимметричные. Симметричные припуски могут быть у наружных и внутренних поверхностей тел вращения, а также у противоположных плоских поверхностей при одновременной параллельной их обработке.

Асимметричное расположение припусков наблюдается при односторонней обработке поверхностей, однако не исключена возможность и при обработке вышеупомянутых поверхностей.

Припуск на механическую обработку должен быть оптимальным, т.е. он должен обеспечить заданную точность механической обработки и в то же время иметь наименьший расход материала, т.е. чрезмерные припуски вызывают затраты на измерения при изготовлении детали, а заниженные припуски, наоборот, не удовлетворяют установленным требованиям к шероховатости, к качеству поверхностного слоя, к материалу и точности размеров.

Таким образом, на величину припусков на обработку и допусков на размеры заготовок оказывает влияние следующий ряд факторов:

- материал заготовки;
- конфигурация и размеры заготовки;
- вид заготовки и способ ее изготовления;
- требования в отношении механической обработки;
- технические условия в отношении качества и класса шероховатости поверхности и точности размеров детали.

В настоящее время известны два метода определения припусков на механическую обработку деталей: опытно-статистический или чаще его называют табличный и расчетно-аналитический.

Сущность табличного метода определения припусков заключается в том, что в производственных условиях размеры припусков устанавливают на основании опыта, пользуясь практическими данными в зависимости от массы и габаритных размеров деталей, конструктивных форм и размеров, необходимой точности и класса шероховатости обрабатываемой поверхности. На основании этих статистических данных составляются нормативные таблицы припусков, которые применяются для своего производства или отрасли. Величина табличного припуска на одноименную обрабатываемую поверхность больше припуска, определенного расчетно-аналитическим методом, т.е. дается некоторый процент запаса, чтобы удовлетворить все требования к обрабатываемой поверхности.

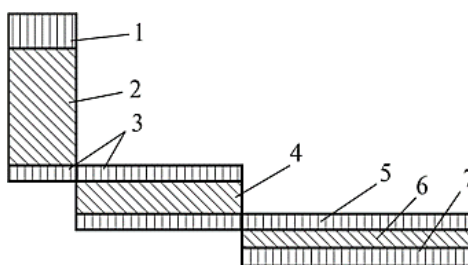
Расчетно-аналитический метод определения припусков предложен проф. В.М. Кованом. Величина его определяется расчетом по формулам.

Всякая заготовка, предназначенная для механической (слесарной) обработки, изготавливается с припуском на размеры готовой детали (припуском на обработку).

Ранее было дано определение общего припуска. При этом можно сказать, что общий припуск – это слой материала, необходимый для выполнения всей

совокупности технологических переходов, т.е. всего процесса обработки данной поверхности от заготовки до готовой детали.

На рисунке 6.1 представлена схема расположения припусков и допусков при обработке детали «вал».



- 1 – допуск на изготовление заготовки; 2 – припуск на предварительную обработку;
 3 – допуск на предварительную обработку; 4 – припуск на шлифование;
 5 – допуск на шлифование; 6 – припуск на доводку; 7 – допуск на доводку.

Рисунок 6.1 – Схема расположения припусков и допусков при обработке вала

В величину припуска, снимаемого при первых, черновых, операциях входит также **дефектный слой**. Дефектный слой включает в себя выпуклости, вмятины, раковины, трещины, погрешности формы и размеров заготовок. У поковок дефектный слой составляет от 1,5 до 3 мм, у штамповок – от 0,5 до 1,5 мм, у горячекатаного проката – 0,5-1 мм, у отливок из серого чугуна – 1-2 мм, у остальных отливок – 1-3 мм.

На практике перераспределяют припуск (рисунок 6.2) между предварительной и окончательной обработкой или между черновой и чистовой обработкой. В таких случаях рекомендуется на черновую обработку оставлять до 60 % суммарного припуска, а на чистовую – до 40%, или же предусматривают 45 % – на черновую, 30 % – на получистовую и 25 % – на окончательную обработку. При назначении припусков следует учитывать характер термической обработки, результатом которой может быть деформация деталей.

В качестве общего правила определения размеров заготовки (размер заготовки складывается из размеров поверхностей детали по чертежу и припуска на них) можно отметить, что начинать следует с окончательного номинального размера детали по чертежу в порядке, обратном ходу технологического процесса, наращивая на каждую операцию или переход определенный межоперационный припуск и устанавливая на этот припуск технологически оправданный допуск.

Общая схема расчета межоперационных Z_m припусков такова:

– для наружных поверхностей детали (6.1):

$$Z_m = a - b; \quad (6.1)$$

– для внутренних поверхностей детали (6.2):

$$Z_m = b - a, \quad (6.2)$$

где Z_m – припуски на выполняемый переход;

a – размер, полученный на предшествующем переходе, мм;

b – размер, который должен быть обеспечен на данном переходе, мм.

Общий припуск определяется разностью размеров заготовки и готовой детали:

– для наружных поверхностей детали (6.3):

$$Z_0 = A_3 - A_d; \quad (6.3)$$

– для внутренних поверхностей детали (6.4):

$$Z_0 = A_d - A_3 \quad (6.4)$$

где Z_0 – общий припуск на обработку;

A_3 – размер заготовки, мм;

A_d – размер готовой детали, мм.

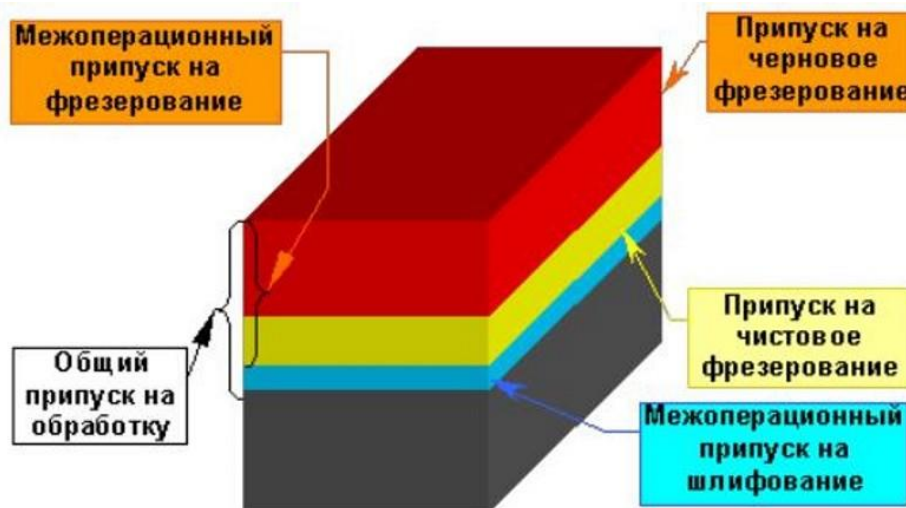


Рисунок 6.2 – Припуски

Расчет припусков или назначение их по справочным таблицам следует производить после отработки конструкции детали и заготовки на технологичность и технико-экономического обоснования метода получения заготовки (рисунок 6.3).

В результате обработки резанием в поверхностном слое возникает зона наклепа. При последующей обработке эту зону целесообразно сохранить, так как она повышает износостойкость детали и способствует получению более чистой поверхности.

При назначении припусков на обработку поверхностей по справочным таблицам (табличный метод) руководствуются следующими правилами:

– общий припуск на механическую обработку поверхности равен припуску, назначенному при проектировании заготовки по соответствующему нормативно-техническому документу (ГОСТ 26645-85, ГОСТ 7505-89, ГОСТ 7062-74, ГОСТ 7829-74, или НТД на сортовой прокат);

– межоперационные припуски на каждый переход МОП, помимо черновой обработки, устанавливаются по таблицам, приведенным в справочной литературе;

– для некоторых видов обработки (шлифование, тонкое точение) припуск на чистовую и отделочную обработку поверхности может назначаться как часть общего припуска, указанная в примечании к соответствующей таблице.

Расчетный

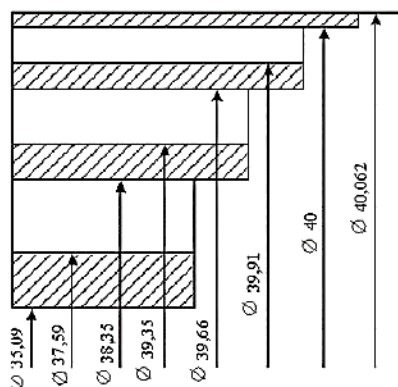
По нормативам

ГОСТ 26645-85 Отливки из металлов и сплавов.

Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$$

$$2Z_{i\max} = 2Z_{i\min} + T_{D_{i-1}} - T_{D_i}$$



Распределение припуска при обработке отверстия

Общая допускная высота поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 0,10	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—
	Тонкая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	—	—
Св 0,10 до 0,11	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	—	—
Св 0,11 до 0,12	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	—
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	—
	Чистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	—
Св 0,12 до 0,14	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	—
	Получистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	—
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	—
Св 0,14 до 0,16	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,4
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
Св 0,16 до 0,18	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
Св 0,18 до 0,20	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Чистовая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
Св 0,20 до 0,22	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Чистовая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6

Рисунок 6.3 – Методы расчета припусков

Расчет режимов резания и норм времени на обработку

Режимы резания оказывают влияние на точность и качество обработанной поверхности, производительность и себестоимость обработки.

Режимы резания – совокупность параметров, определяющих характер протекания процесса механической обработки.

К режимам резания относятся: глубина резания (t), подача (S), скорость резания (V) или частота вращения шпинделя станка (n), сила резания (P), мощность резания (N).

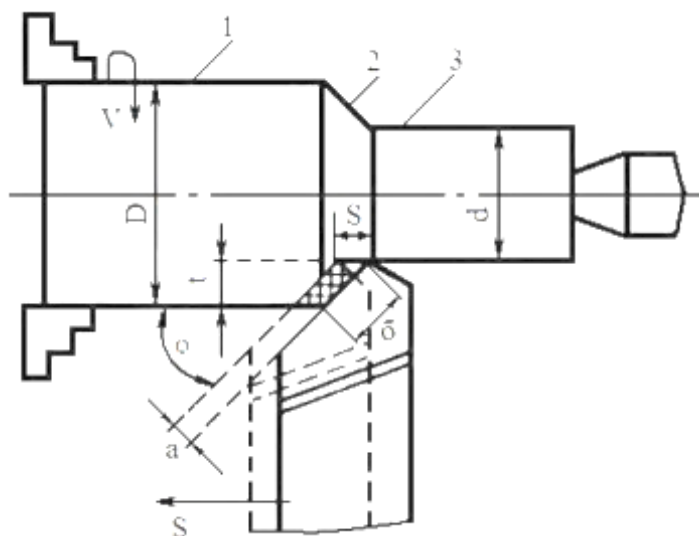


Рисунок 6.4 – Режимы резания

Глубина резания – толщина слоя материала, удаляемого за один рабочий ход.

Подача – величина перемещения инструмента относительно заготовки или заготовки относительно инструмента в направлении подачи за один оборот, за один рабочий ход или в единицу времени (минуту).

Скорость резания – величина перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в единицу времени.

Частота вращения – число оборотов твердого тела в единицу времени.

Сила резания – усилие, возникающее при резании материалов в контакте заготовка – режущий инструмент.

Мощность резания – это произведение силы резания на скорость резания.

Исходными данными при определении режимов резания являются:

- материал заготовки и его характеристика (марка, состояние, механические свойства); точность размеров, точность формы, точность расположения поверхностей, требуемая шероховатость, технические условия; требования к состоянию поверхностного слоя (допускаемое упрочнение); вид заготовки, величина и характер припусков на обработку, наличие поверхностной корки;

- режимы резания выбирают таким образом, чтобы была достигнута наибольшая производительность при наименьшей себестоимости операции.

Это требование выполняется при работе инструментом рациональной конструкции (правильно подобранный материал, наивыгоднейшая геометрия, необходимая прочность, жёсткость и износостойчивость).

- тип и состояние металлорежущего оборудования (паспорта станков или каталоги);

- метод обработки;

- справочная литература.

Различают два метода назначения режимов резания – расчётный и табличный (нормативный). Различие методов только в определении скорости резания (V).

Расчёт режимов резания выполняют в определённой последовательности:

1. Устанавливают глубину резания (t) с учётом припуска и точности обработки.

2. Выбирают режущий инструмент, устанавливают его тип, размер, материал и геометрию заточки в зависимости от: вида обрабатываемых поверхностей; характера обработки; материала режущей части инструмента.

3. Выбирают рекомендуемую подачу (по справочнику) с учётом метода обработки, глубины резания, мощности станка, материала заготовки и режущей части инструмента, прочности инструмента, точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Рекомендуемую подачу необходимо уточнить по паспорту станка.

4. Выбирают период стойкости режущего инструмента в зависимости от типа и размера инструмента, характеристики заготовки и условий работы.

5. Рассчитывают по формулам скорость резания, как функциональную зависимость от ряда факторов (6.5):

$$V = F(C_v, T, t, S, D, B, Z, K_v), \quad (6.5)$$

где C_v – коэффициент на скорость резания, учитывающий материал заготовки и режущей части инструмента;

T – период стойкости инструмента;

t – глубина резания;

S – подача;

D – диаметр инструмента;

B – ширина фрезерования;

Z – число зубьев фрезы;

K_v – поправочный коэффициент на скорость.

При другом методе скорость резания выбирают по таблицам (6.6):

$$V = V_{\text{рек}} \cdot K_v. \quad (6.6)$$

6. Определяют частоту вращения либо заготовки, либо инструмента и сравнивают с имеющейся на станке (6.7):

$$n = 1000V / \pi d. \quad (6.7)$$

7. Определив расчётную частоту вращения, принимают действительную частоту вращения по паспорту станка, ближайшее к расчётному: $n_{\text{ст}} \approx n$.

8. Рассчитывают фактическую скорость резания, соответствующую частоте вращения шпинделя станка (6.8):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\text{ст}}}{1000}, \quad (6.8)$$

9. Определяют составляющие силы резания, как функциональную зависимость от ряда факторов (6.9):

$$P_{\text{зых}} = F(C_p, t, S, V, K_p). \quad (6.9).$$

10. Определяют крутящий момент, как функциональную зависимость от ряда факторов (6.10):

$$M_{\text{кр}} = F(C_m, t, S, V, K_m). \quad (6.10)$$

11. Определяют мощность процесса резания (в киловаттах) (6.11), (6.12):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (6.11)$$

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}. \quad (6.12)$$

12. Сравнивают рассчитанную мощность процесса резания с мощностью станка. Если мощность станка меньше (недостаточна), то либо изменяют режимы резания, либо выбирают станок большей мощности.

Проектирование технологических операций обработки на станках с ЧПУ

Одним из путей внедрения автоматизации механической обработки деталей в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства является применение станков с ЧПУ.

Применение данных станков позволяет повысить точность обработки, сократить или ликвидировать полностью разметочные и слесарно-сборочные работы, сократить количество операций и переходов, уменьшить потребное количество станков, сократить время обработки примерно на 50 %, обеспечить стабильное поддержание точности независимо от квалификации работающего, сократить возможный брак, сократить потребность в различной технологической оснастке.

Наиболее эффективно применение станков с ЧПУ при обработке деталей сложного контура, когда необходимо одновременное перемещение рабочих органов станка по нескольким координатам, а также в случае необходимости применения сложной технологической оснастки (кондукторы, фасонные инструменты и др.), при обработке деталей с большим количеством переходов.

Разработка техпроцесса механической обработки деталей на станках с ЧПУ в отношении выбора технологических баз, последовательности выполнения переходов, режимов обработки, выбора режущего инструмента в общем случае не отличается от обработки на станках с ручным управлением.

Особенностью разработки процесса на станках с ЧПУ является подробная разработка попередного техпроцесса и составление управляющей программы. Для составления управляющей программы рассчитывается траектория движения режущего инструмента, определяются координаты опорных точек траектории движения инструмента.

Вся полученная информация заносится в расчетно-технологическую карту.

Разработка техпроцесса осуществляется в следующей последовательности:

1. Анализ конструктивно-технологических особенностей деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ.
2. Выбор технологических баз, способов установки и выверки заготовок.
3. Разработка попередного техпроцесса.
4. Выбор оборудования, инструментов, режимов работы.
5. Графическое построение траектории движения режущего инструмента и расчет координат опорных точек траектории.
6. Составление расчетно-технологической карты с указанием всех команд для выполнения операций.
7. Кодирование программы обработки и запись на программоноситель.
8. Преобразование информации и выдача управляющей программы (составление).
9. Контроль программы.
10. Проверка программы ее отработкой на станке.
11. Контрольная обработка деталей.

При анализе конструктивно-технологических особенностей деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, учитываются как общие требования к механической обработке, так и требования программирования.

Конструкция деталей должна быть достаточно жесткой с максимальной унификацией размеров и конструктивных форм, что позволяет обеспечивать применение минимального количества инструментов, обеспечивается возможность обработки наибольшего количества поверхностей с одного

установка, конструктивные формы заготовки должны обеспечивать возможность непрерывной автоматической обработки и удобство удаления стружки.

При работе на станках с ЧПУ должна обеспечиваться безударная работа инструмента. Допуски и припуски на обработку примерно на 20 % меньше, по сравнению с обработкой на станках с ручным управлением. При анализе технологичности конструкции детали обращается внимание на максимальную типизацию конструктивных форм детали, предусматривается возможность использования типовых подпрограмм, что сокращает затраты на подготовку управляющей программы.

С целью упрощения задач программирования необходимо обращать внимание на простановку размеров на чертеже, которые должны быть указаны в прямоугольной системе координат от единых конструкторских баз.

В общем случае, простановка размеров должна быть таковой, чтобы не вызывала необходимости перерасчета размеров при разработке управляющей программы.

Заготовки, поступающие на обработку, чаще всего имеют предварительно обработанные технологические базы, кроме тех случаев, когда обработка производится по черновым базам.

Обработка базовых поверхностей на станках с ЧПУ обычно экономически не целесообразна.

Операционный техпроцесс разрабатывается подробно с указанием всех движений рабочих органов станка. Каждый переход разрабатывается подробно с указанием длины пути перемещения режущего инструмента и режимов резания.

Перед началом программирования определяют координаты опорных точек с началом отсчета системы координат деталей, которая выбирается вместе с выбором технологических баз.

Особенностью обработки на станках с ЧПУ является определение не только вида и пути перемещения инструмента, но и указываются все опорные точки на пути врезания и резания. Первой опорной является точка, от которой начинается программируемая траектория движения инструмента. Нумерация опорных точек по возможности должна отвечать последовательности обработки поверхностей.

Весь обрабатываемый контур разбивается на отдельные участки, каждый из которых представляет собой определенную геометрическую фигуру. Точки смежных участков контура называются опорными. Точки, в которых происходит смена направления движения инструмента, называются геометрическими, точки, в которых происходит смена режимов, называются технологическими.

Все полученные данные по переходному технологическому процессу, координаты траектории и другие сведения заносятся в расчетно-технологическую карту, на основе которой производится разработка управляющей программы.

Технологической документацией являются: операционная карта, карта координат опорных точек, траектория движения режущих инструментов, карта

наладки, где указываются инструменты, схемы их расположения в суппортах и магазинах, управляющая программа.

Для устранения влияния погрешностей обработки (температурные деформации, размерный износ и др.) с пульта управления станка с ЧПУ вносятся соответствующие коррективы в программу.

Раздел VII. Методы обработки поверхностей

Глава 7.1 Возможные методы первичной обработки деталей

Обработка наружных поверхностей тел вращения

Механическую обработку резанием наружных поверхностей тел вращения выполняют точением, шлифованием, а также отделочными технологическими процессами (полированием и суперфинишированием). В процессе черновых переходов параметры шероховатости снижаются в 4-5 раз, а при отделочных – в 1,5-2 раза. Принимают такой процесс обработки или сочетание нескольких, технологические возможности которых обеспечивают выполнение технических требований к детали.

Наружные цилиндрические поверхности обтачивают на станках токарной группы (токарно-винторезные, токарно-револьверные, карусельные, многорезцовые, одно- и многошпиндельные автоматы и др.) прямыми или отогнутыми проходными резцами. Для обработки нежестких валов рекомендуется использовать проходные резцы, у которых главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$. При обтачивании заготовок валов такими резцами радиальная составляющая силы резания R_y равна нулю, что снижает деформирование заготовок в процессе обработки и повышает их точность.

Точение длинных пологих конусов выполняют при смещении в поперечном направлении корпуса задней бабки относительно ее основания или с использованием специального приспособления – конусной линейки. Механическую обработку на станках с ЧПУ конических поверхностей с любым углом конуса при вершине осуществляют подбором скоростей продольной и поперечной подачи. Для заготовок из закаленных сталей, обладающих высокой твердостью, шлифование является одним из наиболее распространенных технологических процессов обработки резанием.

Наружные поверхности шлифуют на круглошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных станках.

Круглое шлифование цилиндрических поверхностей выполняют по одной из четырех схем (рисунок 7.1).

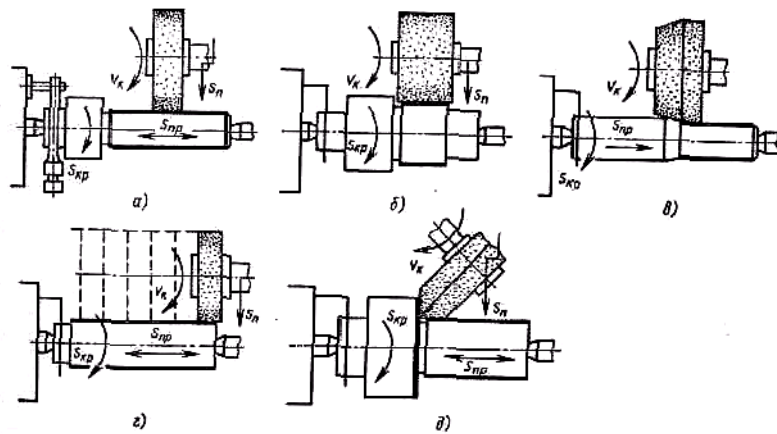


Рисунок 7.1 – Схемы обработки наружной цилиндрической поверхности заготовок на круглошлифовальных станках

– **шлифование с продольной подачей** (рисунок 7.1, а) – в процессе обработки заготовка вращается равномерно и совершает возвратно-поступательные движения;

– **врезное шлифование** (рисунок 7.1, б) – этот производительный вид обработки применяют в тех случаях, когда ширина шлифуемого участка жестких заготовок может быть перекрыта шириной шлифовального круга. Данный технологический процесс используют и при шлифовании фасонных поверхностей. Шлифовальный круг правят в соответствии с формой поверхности;

– **глубинное шлифование** (рисунок 7.1, в) – в процессе обработки за один проход снимают слой материала на всю необходимую глубину;

– **шлифование уступами** (рисунок 7.1, г) – на первом этапе обрабатывают заготовку врезанием, периодически передвигая стол на 0,8...0,9 ширины круга; на втором этапе делают несколько ходов с движением продольной подачи $D_{сп}$ для зачистки поверхности.

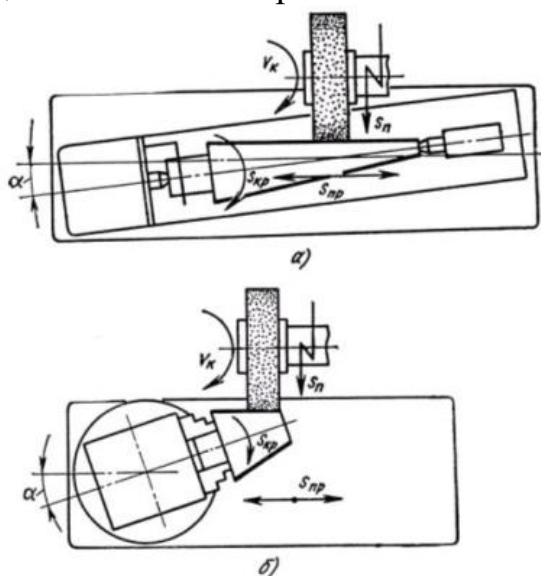


Рисунок 7.2 – Схемы шлифования конических поверхностей заготовок

Наружные конические поверхности шлифуют по двум основным схемам. При обработке заготовок в центре (рисунок 7.2, а) верхнюю часть стола поворачивают вместе с центрами на угол α так, что положение образующей конической поверхности совпадает с направлением движения продольной подачи. При шлифовании с консольным закреплением заготовок (рисунок 7.2, б) на угол α поворачивают переднюю бабку. Далее шлифуют по аналогии с обработкой цилиндрических поверхностей.

На бесцентрово-шлифовальных станках заготовки обрабатывают в незакрепленном состоянии, для них не требуется центровых отверстий (рисунок 7.3). Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между ней и рабочим кругом. Вследствие этого заготовка увлекается во вращение со скоростью, близкой к скорости ведущего круга. Перед шлифованием ведущий круг устанавливают наклонно под углом θ ($1...7^\circ$) к оси вращения заготовки (рисунок 7.3, а). Вектор скорости $V_{в.к}$ этого круга разлагается на составляющие и возникает скорость движения подачи $V_{спр}$. Заготовка перемещается по ножу вдоль своей оси и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол θ , тем больше подача.

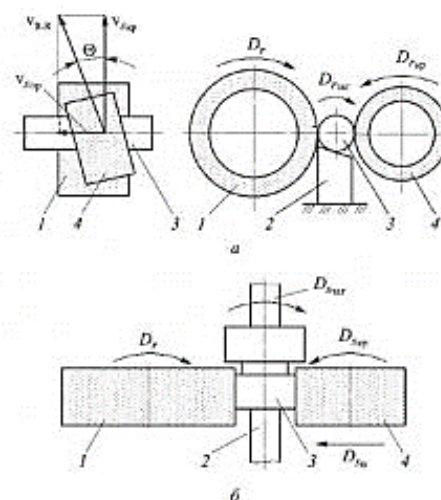


Рисунок 7.3 – Схема обработки цилиндрической поверхности заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках

Заготовки ступенчатой формы или с фасонными поверхностями шлифуют методом врезания (рисунок 7.3, б). Шлифовальный круг правят в соответствии с профилем детали.

Методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей

Отверстия в изделиях чаще бывают цилиндрические гладкие или ступенчатые, сквозные или глухие. Обработку отверстий могут проводить резанием лезвийными и абразивными инструментами, а также электроэрозионной обработкой. Для улучшения условий работы инструмента, снижения энергозатрат сверление отверстий большого диаметра выполняют за несколько переходов (как правило, за два). Первый переход – предварительное сверление инструментом диаметром $d_1 = 0,25d$, где d – окончательный диаметр отверстия. Далее выполняют рассверливание отверстия сверлом диаметром d .

В серийном производстве мелкие корпусные изделия, масса которых не превышает 30 кг, можно обрабатывать на вертикально-сверлильных станках. В крупносерийном и массовом производстве отверстия обрабатывают на агрегатных многошпиндельных сверлильных станках.

На токарно-винторезных станках обработку поверхностей выполняют сверлами (рисунок 7.4, а), зенкерами и развертками. В этом случае обработку ведут с движением продольной подачи режущего инструмента. Сквозные отверстия на токарно-винторезных станках растачивают проходными расточными резцами (рисунок 7.4, б), глухие – упорными (рисунок 7.4, в).

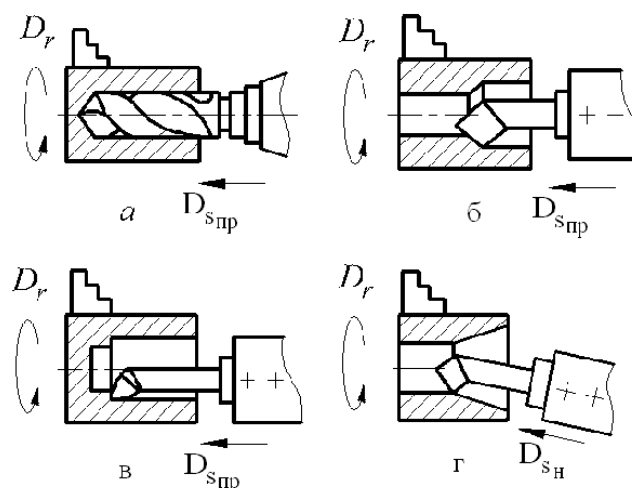


Рисунок 7.4 – Типовые схемы обработки цилиндрических и конических отверстий в заготовках на станках токарной группы

Внутренние конические поверхности средней длины (рисунок 7.4, г) с любым углом конуса при вершине растачивают с наклоненным движением подачи резца при повороте верхнего суппорта.

Внутреннее шлифование применяют для получения высокой точности отверстий на заготовках, как правило, прошедших упрочняющую термическую обработку. Возможно шлифование сквозных, глухих, конических и фасонных отверстий. Диаметр шлифовального круга составляет 0,7...0,9 диаметра шлифуемого отверстия. Кругу сообщают высокую частоту вращения, которая тем выше, чем меньше диаметр круга. На внутришлифовальных станках обрабатывают также фасонные поверхности специально заправленным кругом методом врезания.

Отделочными операциями обработки отверстий являются тонкое растачивание, шлифование и хонингование. В единичном и мелкосерийном производстве для достижения высокой точности размеров отверстий и низкой шероховатости поверхности широко используют притирку (абразивную доводку).

Методы обработки простых поверхностей

Обработка плоских поверхностей ведется на станках: строгальных, фрезерных, протяжных, многоцелевых (обрабатывающих центрах), резе токарных, расточных (поперечная подача), шабровочных и других – лезвийным инструментом; плоско-, резе профильно-шлифовальных, полировальных, доводочных – абразивным инструментом.

Таблица 7.1 – Качество поверхности от обработки

Метод обработки	Вид обработки	Квалитет	Шероховатость (Ra, мкм)
1	2	3	4
Строгание, долбление	Черновое	13 – 11	12,5 – 3,2

1	2	3	4
Чистовое	10 – 9	1,6 – 0,8	
Тонкое	8 – 6	1,6 – 0,2	
Фрезерование	Черновое	13 – 11	12,5 – 3,2
Получистовое	12 – 10	3,2 – 1,6	
Чистовое	10 – 8	1,6 – 0,8	
Тонкое	8 – 6	1,6 – 0,2	
Протягивание	Черновое	11 – 10	3,2 – 1,6
Чистовое	9 – 6	1,6 – 0,4	
Шабрение	Механическое	8 – 7	1,25 – 0,03
Ручное	7 – 6	0,63 – 0,08	
Шлифование	Черновое	9 – 8	1,6 – 0,4
Чистовое	8 – 7	0,4 – 0,1	
Тонкое	7 – 6	0,2 – 0,05	
Полирование	Предварительное	5 – 4	0,63 – 0,16
Окончательное	5 – 3	0,32 – 0,04	
Чистовое	4 – 3	0,08 – 0,02	
Доводка	Предварительная	6 – 5	0,63 – 0,16
Получистовая	5 – 4	0,16 – 0,08	
Чистовая	5 – 3	0,08 – 0,02	
Тонкая	4 – 3	0,02 – 0,01	

Обработка плоских поверхностей лезвийным инструментом

Строгание широко применяется в мелкосерийном единичном производствах из-за использования простых приспособлений и инструментов.

Этот метод гибок при переходе на другие работы, но малопроизводителен, так как обработка ведется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) и на умеренных режимах (низкой скорости) резания при наличии вспомогательных (холостых) ходов. Кроме того, работа на строгальных и долбежных станках требует высокой квалификации рабочего.

Строгание небольших и средних деталей производится на поперечно-строгальных станках, а крупных – на продольно-строгальных, при этом продольно-строгальные станки могут оснащаться фрезерными или шлифовальными головками (обработка направляющих станин, длинных деталей и конструкций).

Фрезерование – наиболее распространенный метод обработки плоских поверхностей, который вытеснил строгание из массового и крупносерийного производства.

Фрезерные станки подразделяют:

1. Общего назначения: горизонтально-, вертикально- (консольные и бесконсольные с крестовым столом), универсально- и продольно-фрезерные станки – применяются во всех видах производства.

2. Высокопроизводительные: карусельные, барабанные и специальные фрезерные станки – применяются в основном в крупносерийном и массовом производстве.

Существуют следующие виды фрезерования:

Одностороннее – торцовыми, цилиндрическими, реже концевыми и дисковыми (односторонними) фрезами.

Двустороннее – торцовыми, концевыми, реже дисковыми (двух- и трехсторонними) фрезами.

Трехстороннее – концевыми или дисковыми (трехсторонними) фрезами.

Четырехстороннее – Т-образными фрезами (после трехстороннего фрезерования).

В настоящее время при фрезеровании плоскостей широко используются торцовые фрезы (диаметром более 90 мм) со вставными ножами (фрезерные головки), которые имеют следующие преимущества:

1. Повышается производительность труда из-за применения фрез больших диаметров (в работе одновременно участвует большее количество зубьев).

2. Большая жесткость крепления инструмента (отсутствие длинных оправок) позволяет работать с большими подачами и глубинами резания.

3. Одновременно обрабатывать заготовки с разных сторон (барабанно- и карусельно-фрезерные станки и др.), на которых возможна обработка плоскостей по непрерывному циклу (с переустановкой заготовки во время работы станка).

Сокращение основного времени также достигается внедрением скоростного и силового фрезерования.

Скоростное фрезерование осуществляется при малых подачах на зуб: для сталей – $V < 350$ м/мин с $S_z = 0,05 \div 0,12$ мм/зуб, для чугуна $V < 450$ м/мин и цветных сплавов $V < 2000$ м/мин с $S_z = 0,3 \div 0,8$ мм/зуб.

Силовое фрезерование ведут с большими подачами на зуб фрезы $S_z \geq 1$ мм/зуб, но пониженными скоростями резания.

Тонкое фрезерование характеризуется малыми глубинами ($t \leq 0,1$ мм) и подачами $S_z = 0,05 \div 0,1$ мм/зуб), но большими скоростями резания.

Протягивание наружных поверхностей, пазов и канавок ведут на вертикально- и горизонтально-протяжных станках, при этом обеспечивается высокая производительность и низкая себестоимость продукции, несмотря на дорогостоящий инструмент – протяжку и низкие скорости резания.

Этот метод обработки экономически выгоден в крупносерийном и массовом производстве и даже вытесняет фрезерование. Еще большего повышения производительности труда в массовом производстве достигают применением многопозиционных протяжных станков, а также станков непрерывного действия.

Шабрение выполняют инструментом (шабером) вручную или механически.

Ручное шабрение – дорогостоящий и малопроизводительный процесс, требующий больших затрат времени и высокой квалификации рабочего, но обеспечивает высокое качество обработки (точность и чистоту).

Механическое шабрение выполняют на специальных станках, где шабер совершает возвратно-поступательное движение.

Сущность шабрения заключается в соскабливании тонких ($\approx 0,005$ мм) слоев металла до получения более ровной плоскости после ее предварительной

чистовой обработки, и определяется по числу пятен на площади $25 \times 25 \text{ мм}^2$ (при проверке контрольной плитой или линейкой). Чем больше пятен (на этой площади), тем точнее обработка (шабрение чистовое – 6 – 10 пятен с шероховатостью $R_a \leq 1,25 \text{ мкм}$, тонкое – более 22 пятен с $R_a \leq 0,08 \text{ мкм}$).

Обработка плоских поверхностей абразивным инструментом

Аналогично обработке тел вращения плоские поверхности обрабатывают шлифованием, полированием и доводкой.

Шлифование плоскостей (особенно закаленных деталей) осуществляют на плоскошлифовальных станках (продольных или с круглым столом) периферией или торцом круга или шлифовальной (сегментной) головкой. В определенных случаях шлифование с успехом заменяет фрезерование.

Шлифование периферией круга осуществляют тремя способами:

1. Многократными рабочими ходами, где поперечная подача производится после каждого продольного хода, а вертикальная – после рабочего хода по всей ширине детали.

2. С установкой круга на размер (на глубину припуска) используют мощные шлифовальные станки с малой скоростью продольного хода стола и поперечного перемещения шлифовального круга на $0,7 \div 0,8$ его ширины. Под чистовую шлифовку оставляют $0,01 \div 0,02 \text{ мм}$ и снимают его первым способом.

3. Ступенчатым (профилирующим) кругом, где припуск распределен между ступенями и снимается за один рабочий ход. Применяется редко, так как достаточно трудоемка правка круга.

При шлифовании торцом круга используют шлифовальные круги формы ПВ (плоская с выточкой) или шлифовальные головки с сегментами.

Шлифование обычно ведется с применением СОЖ.

Полирование – отделочная обработка, где абразивным инструментом являются эластичные (резиновые, войлочные и др.) круги (часто с применением паст) или абразивные шкурки.

Доводка осуществляется на плоскодоводочных станках (чугунными) притирами с применением паст при низких скоростях резания (2 – 10 м/мин).

С повышением скорости и давления производительность повышается, но качество ухудшается.

Нормирование работ по обработке плоских поверхностей

Нормирование строгальных и долбежных работ содержит характерные для этих станков установки:

1. В тисках (с выверкой или без нее) с учетом числа одновременно обрабатываемых заготовок.

2. На столе, с учетом числа крепежных болтов и дополнительных клиньев, струбцин и др.

3. В приспособлении (специальное, трехкулачковый патрон и др.).

Нормативы вспомогательного времени (переход, проход) и обслуживания рабочего места установлены с учетом групп станков:

1. Для продольно-строгальных – по наибольшей длине рабочей поверхности стола.

2. Для поперечно-строгальных – по наибольшей длине хода ползуна.

В нормировании фрезерных работ надо правильно характеризовать приспособление (по базам и креплению), способ его очистки (сжатым воздухом, кантованием, щеткой и т.д.). При массе детали более 20 кг должен быть оговорен подъемник.

Вспомогательное время (переходы) учитывает группы станка (по длине стола), установку инструмента на размер и др.

Время приемов учитывает переключения частот вращения шпинделя и минутной подачи, установку защитного щитка и установку инструмента на размер.

Методы нарезания резьб

Основным видом цилиндрической резьбы является метрическая резьба с диаметрами от 0,25 до 600 мм. По размеру шага эту резьбу делят на резьбу с крупным и мелким шагом.

Кроме указанных резьб используют специальные цилиндрические резьбы. Трубная резьба представляет собой измельченную по шагу дюймовую резьбу с закругленными впадинами. Трапецеидальную резьбу применяют в резьбовых соединениях, передающих движение (ходовые и грузовые винты). В резьбовых соединениях, предназначенных для передачи движения, иногда используют прямоугольную резьбу с квадратным профилем. Упорную резьбу применяют в резьбовых соединениях, испытывающих большое одностороннее давление (в винтовых прессах, специальных нажимных винтах и др.).

Конические резьбы применяют в трубных соединениях, если необходимо обеспечить плотность соединения без специальных уплотняющих материалов (пряжи с суриком, льняных нитей и др.). Наиболее распространенным видом является трубная коническая резьба, профиль которой соответствует закругленному профилю трубной цилиндрической резьбы.

Наружную и внутреннюю резьбу на деталях получают следующими основными способами:

- методом нарезания токарными резцами, как внутреннюю, так и наружную;

- методом резьбофрезерования, в основном резьбофрезами и вихревыми резьбонарезными головками;

- методом нарезания метчиками, плашками, резьбонарезными головками;

- методом накатывания роликами, накатными головками, раскатниками, накатными плашками, гребенками;

- методом шлифования;

– прочими методами: литьем, прессованием, штамповкой, выдавливанием и т.д.

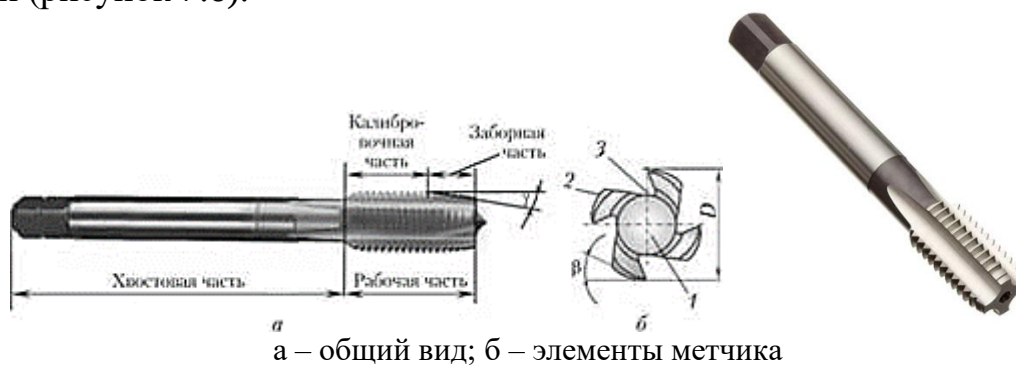


Рисунок 7.5 – Методы нарезания резьб

Для резьбонарезания применяют метчики, плашки, резцы, гребенки, резьбовые фрезы и шлифовальные круги.

Резцы, гребенки, метчики, плашки и головки обрабатывают резьбу по одной и той же схеме формообразования, когда движение инструмента относительно заготовки сводится к винтовому и исходная инструментальная поверхность совпадает с поверхностью нарезаемой резьбы. Поэтому профилирующие участки режущих кромок этих инструментов располагаются на одной и той же исходной поверхности резьбы детали. В процессе обработки относительное винтовое движение может быть сообщено непосредственно инструменту, что имеет место при нарезании резьбы на сверлильных станках метчиками, плашками или головками. Процесс резания характеризуется вырезанием слоев металла по профилю впадины.

При нарезании внутренних резьб наибольшее распространение получили метчики (рисунок 7.6).



а – общий вид; б – элементы метчика

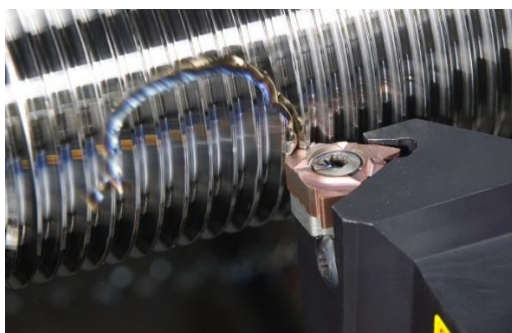
Рисунок 7.6 – Конструкция метчика

Метчик представляет собой винт с равномерно распределенными по его направляющей режущими перьями 2, последовательно смещенными относительно друг друга в направлении предполагаемого движения врезания и равностоящими от оси калибрующими зубьями. Он работает при двух одновременных движениях: вращательном (метчика и заготовки) и поступательном (вдоль оси метчика). Метчики подразделяются на: ручные, машинные, плосечные, калибровочные, регулируемые и самооткрывающиеся.

При нарезании наружных резьбы невысокой точности используют круглые плашки (рисунок 7.8). Элементы, обеспечивающие и характеризующие процесс резания и закрепление на станке или в воротке: режущие перья и стружечные отверстия, шаг резьбы, диаметр плашки, перемиčky, паз для разжимного винта, гнезда для крепежных винтов поверхностей.

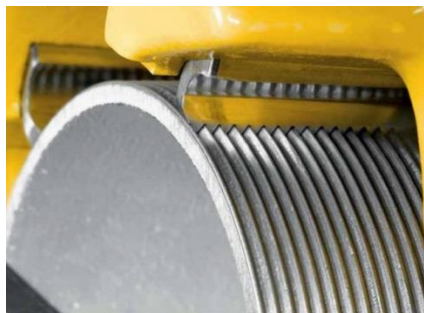


При нарезании наружных и внутренних резьб высокой точности используют резьбонарезные резцы (гребенки) – однолезвийный фасонный режущий инструмент, режущая кромка которого при обработке образует профиль резьбы всеми точками (рисунк 7.9).



108

По конструкции резцы разделяют на стержневые, призматические (рисунок 7.10), круглые с кольцевой и винтовой нарезкой; по форме режущей кромки – на однопрофильные и многопрофильные; по исполнению режущего элемента – на цельные, составные, сборные; по типу нарезаемой резьбы – для метрических, трапецеидальных, упорных резьб.



а – стержневые; б – призматические

Рисунок 7.10 – Гребенки для нарезания внешней резьбы

Резьбовые фрезы относятся к многозубым инструментам. Примеры нарезания внутренней резьбы фрезами показаны на рисунке 7.11.

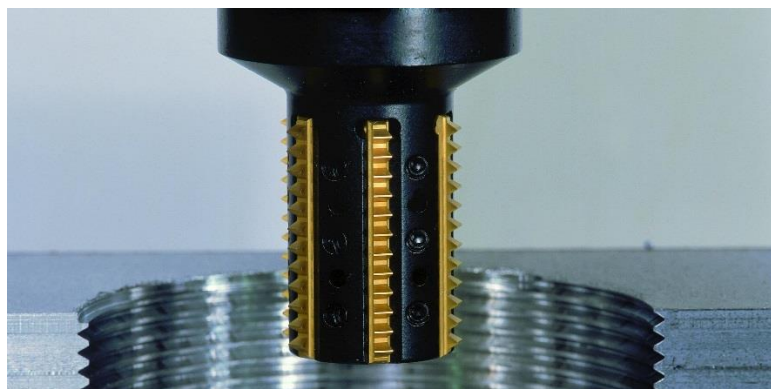


Рисунок 7.11 – Примеры нарезания наружной резьбы фрезами

По конструкции их подразделяют на гребенчатые цилиндрические (для резьб неглубокого профиля с шагом 0,5–6 мм) (рисунок 7.12, а); дисковые (для резьб крупного профиля) (рисунок 7.12, б); гребенчатые сборные охватывающие (рисунок 7.12, в); головки для скоростного фрезерования резьбы с крупным шагом.

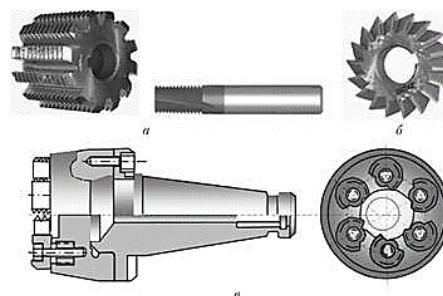


Рисунок 7.12 – Виды резьбовых фрез

Накатывание – наиболее производительный способ образования резьбы на деталях без снятия стружки. По существу, этот способ относится к методам пластического деформирования материала заготовки, а не к рассматриваемым принципиально иным способам размерной обработки.

Существует несколько способов накатывания резьб: роликами (рисунок 7.13); плашками (рисунок 7.14); головками с радиальным движением подачи роликов (рисунок 7.15); головками с тангенциальным движением подачи (рисунок 7.16) и рядом других. Выбор инструмента и способа накатывания зависит от типа резьбы и ее размеров, точности, длины и материала заготовки.



Рисунок 7.13 – Резьбонакатные ролики

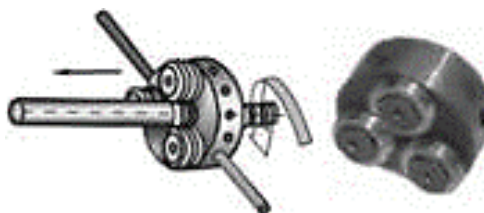
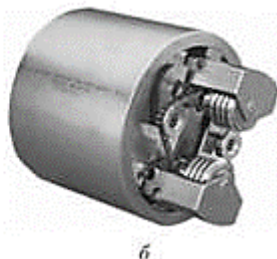
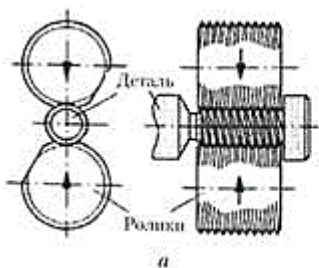


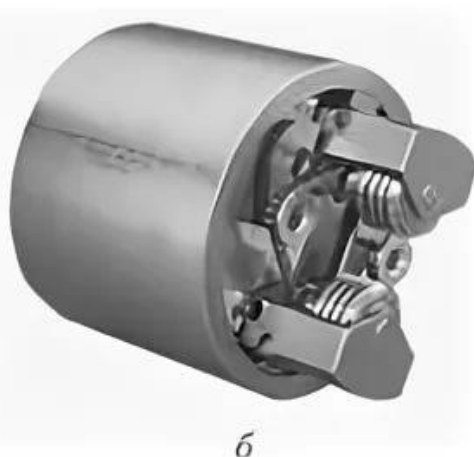
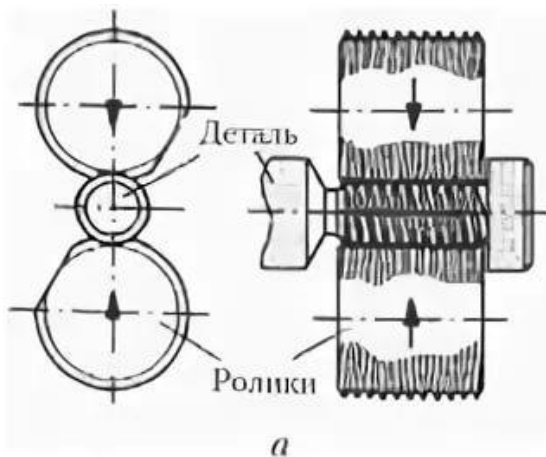
Рисунок 7.14 – Резьбонакатная плашка: схема и конструкция



а – схема; б – конструкция



Рисунок 7.15 – Радиальная резьбонакатная головка



а – схема; б – конструкция

Рисунок 7.16 – Тангенциальная резьбонакатная головка

Резьбу накатывают на специализированных станках. На рисунке 7.17 показан станок с трехвалковыми головками. Его применяют для обработки пустотелых заготовок, ступенчатого прутка, накатки трапецеидальных и червячных резьб.

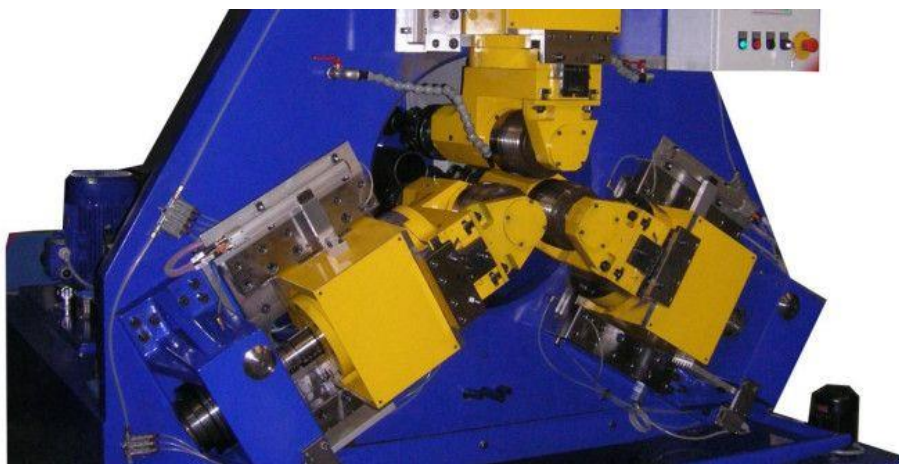


Рисунок 7.17 – Резьбонакатной трехвалковый станок

Типовые технологические маршруты изготовления зубчатых колес

Классификация зубчатых передач

В зубчатой передаче движение передается с помощью зацепления пары зубчатых колес. Меньшее зубчатое колесо принято называть шестерней, большое – колесом. Термин «зубчатое колесо» относится как к шестерне, так к большому колесу.

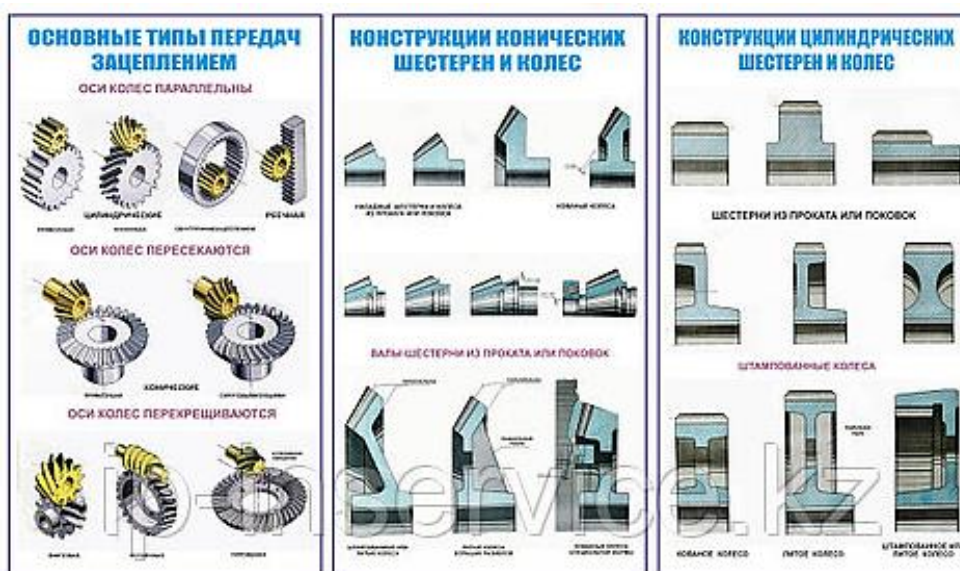


Рисунок 7.18 – Типы зубчатых передач

Достоинства зубчатых передач.

К достоинствам этого вида механических передач относятся:

- высокая надежность работы в широком диапазоне нагрузок и скоростей;
- малые габариты;
- большой ресурс;
- высокий КПД;
- сравнительно малые нагрузки на валы и подшипники;
- постоянство передаточного числа;
- простота обслуживания.

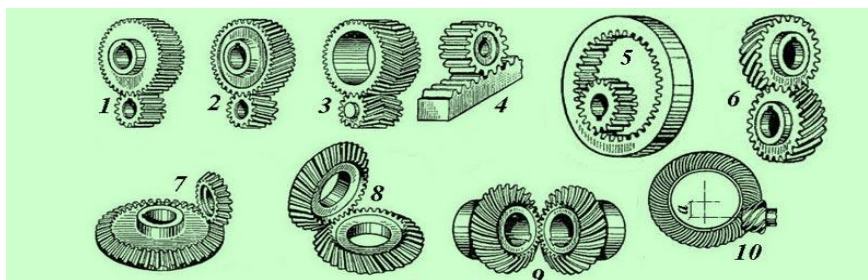
Недостатки зубчатых передач.

Как и любой другой вид механических передач, зубчатые передачи имеют ряд недостатков, к которым относятся:

- относительно высокие требования к точности изготовления и монтажа;
- шум при больших скоростях, обусловленный неточностями изготовления профиля и шага зубьев;
- высокая жесткость, не дающая возможность компенсировать динамические нагрузки, что часто приводит к разрушению передачи или элементов конструкции (для примера – ременная или фрикционная передача при внезапных динамических нагрузках могут пробуксовывать).

Зубчатые передачи классифицируются по ряду конструктивных признаков и особенностей.

В зависимости от взаимного расположения осей, на которых размещены зубчатые колеса, различают передачи цилиндрические (при параллельных осях), конические (при пересекающихся осях) и винтовые (при перекрещивающихся осях) (рисунок 7.19).



- 1 – цилиндрическая прямозубая передача; 2 – цилиндрическая косозубая передача; 3 – шевронная передача; 4 – реечная передача; 5 – цилиндрическая передача с внутренним зацеплением; 6 – винтовая передача; 7 – коническая прямозубая передача; 8 – коническая косозубая передача; 9 – коническая передача со спиралевидными зубьями; 10 – гипоидная передача

Рисунок 7.19 – Классификация зубчатых передач

В зависимости от формы профиля зубьев различают эвольвентные зубчатые передачи и передачи с зацеплением Новикова.

В зависимости от вида передаваемого движения различают зубчатые передачи, не преобразующие передаваемый вид движения и преобразующие передаваемый вид движения. К последним относятся реечные зубчатые передачи, в которых вращательное движение преобразуется в поступательное

или наоборот. В таких передачах рейку можно рассматривать, как зубчатое колесо с бесконечно большим диаметром.

Шевронные зубчатые колеса можно условно сравнивать со спаренными косозубыми колесами, имеющими противоположный угол наклона зубьев. Такая конструкция позволяет избежать осевых усилий на валы и подшипники опор, неизбежно появляющихся в обычных косозубых передачах.

Технические требования к зубчатым колесам

Требования устанавливаются в зависимости от служебного назначения зубчатых передач и в основном определяются степенью точности колес.

В результате термической обработки твердость рабочих поверхностей зубьев цементируемых зубчатых колес должна быть в пределах 45...60 HRC при глубине слоя цементации 1...2 мм. При цианировании твердость 42...53 HRC, глубина слоя должна быть в пределах 0,5...0,8 мм.

Твердость незакаливаемых поверхностей обычно находится в пределах 180...270 HB.

К основным технологическим процессам получения заготовок зубчатых колес относятся: свободная ковка; штамповка на кривошипных ковочно-штамповочных прессах, горизонтально-ковочных машинах; поперечно-клиновая прокатка; холодная штамповка; горячая высадка на многопозиционных автоматах.

Многолетний опыт серийного производства и эксплуатации зубчатых передач показал большое влияние технологических факторов на динамику, виброактивность, ресурс и надежность работы передач. Технология производства «бесшумных» передач повышенного ресурса эксплуатации должна обеспечивать:

- высокую точность изготовления базовых поверхностей и всех элементов зацепления;
- высокое качество химико-термического упрочнения рабочих поверхностей зубчатых колес;
- оптимальную модификацию рабочих поверхностей зубьев, обеспечивающую снижение динамических нагрузок и вибраций в зацеплении и исключаящую заедание зубьев в работе зубчатых пар;
- низкую шероховатость рабочих поверхностей зубьев;
- снижение затрат на изготовление зубчатых колес.

Сложность поставленных задач перед технологией производства зубчатых колес, требует комплексного подхода к их решению, основой которого является разработка базовых технологических процессов механической и химико-термической обработки, оснащение производства высокоточным и производительным оборудованием, современными комплексами вычислительной техники и программными продуктами.

Разработка технологического процесса изготовления зубчатых колес начинается и ведется параллельно с разработкой конструкции зубчатой

передачи, при этом определяется возможность их изготовления в условиях конкретного серийного производства. Технологический процесс (маршрут), устанавливающий последовательность выполнения операций обработки, строится в зависимости от многих конструктивно-технологических особенностей зубчатого колеса, определяющей из которых является выбор вида химико-термического упрочнения его рабочих поверхностей.

Для зубчатых колес совершенно справедливо утверждение о том, что уровень их долговечности и надежности заложен в качестве поверхностного слоя зубьев. Оно должно быть высоким, чтобы в условиях действия больших контактных напряжений, сил трения и контактных температур противостоять повреждению рабочих поверхностей зубьев и их усталостному разрушению (поломке).

Качество поверхностного слоя зубьев оценивают комплексом характеристик: химическим и фазовым составом, макро-, микро-, субструктурой, распределением твердости, величиной, знаком и распределением остаточных напряжений и др.

Совокупность этих характеристик определяет уровень несущей способности зубчатой передачи, сопротивление контактной усталости, знакопеременному изгибу, изнашиванию и заеданию. Каждый из указанных критериев работоспособности зависит от воздействия на поверхностный слой зубьев комплекса технологических и металлургических факторов.

В современном производстве зубчатых колес преимущественно применяется технологический процесс с цементацией рабочих поверхностей колес. В этом случае технологический процесс изготовления включает в себя следующие основные операции:

- получение заготовки;
- черновая обработка заготовки;
- нормализация (для снятия внутренних напряжений в заготовке и улучшения структуры материала);
- предварительная обработка поверхностей, обрабатываемых окончательно после химико-термического упрочнения;
- обработка базовых поверхностей под нарезание зубьев;
- нарезание зубьев;
- обработка торцовых и продольных кромок зубьев;
- цементация;
- обработка не цементируемых поверхностей, снятие напусков с поверхностей, не требующих химико - термического упрочнения;
- закалка и отпуск;
- восстановление баз под окончательную обработку;
- окончательная обработка посадочных поверхностей;
- отделка зубьев (зубошлифование, зубохонингование, зубопритирка);
- окончательный контроль.

Методы формообразования зубчатых венцов: фрезерование, долбление, протягивание, зуботочение, накатка.

Образование профиля зубьев зубчатых колес путем удаления материала впадины лезвийными режущим инструментом (РИ) производится фрезерованием, строганием, долблением, протягиванием. Для чистовой обработки зубьев применяют шевингование и шлифование. Фрезерование осуществляется профильными фрезами, дисковыми или пальцевыми; цилиндрическими или коническими червячными фрезами; торцовыми зуборезными головками с резцами для черновой и чистовой обработки конических зубчатых колес.

Строгание производится резцами с прямолинейной режущей кромкой на специальных зубострогальных станках, предназначенных для обработки конических колес. Долбление производят на зубодолбежных станках многолезвийным РИ – долбяком. Протягивание осуществляют с помощью специальных протяжек.

Шевингование – процесс чистовой обработки незакаленных зубчатых колес дисковыми или реечными шеверами, снабженными по профилю мелкими режущими зубчиками.

Шлифование используют как процесс чистовой обработки зубьев закаленных колес, а при мелких модулях – для вышлифовывания зубьев в целой заготовке.

Нарезание цилиндрических зубчатых колес осуществляется двумя методами:

1) методом копирования, когда форма режущих кромок фасонного РИ соответствует форме впадины зуба колеса (так работают дисковые и пальцевые модульные фрезы (рисунок 7.20), зубодолбежные головки); при этом методе после нарезания очередной впадины должен производиться поворот заготовки на окружной шаг для нарезания следующей впадины;

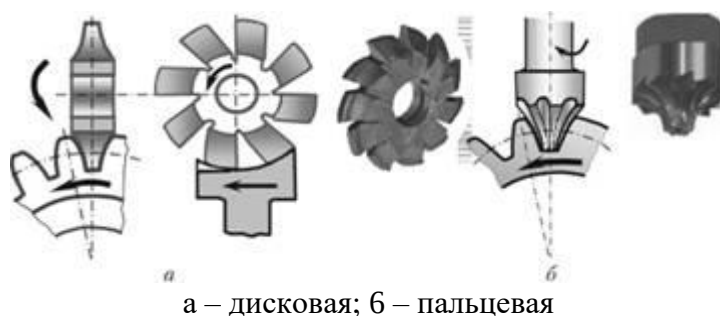


Рисунок 7.20 – Схемы нарезания зубчатых колес модульными фрезами

2) методом обкаточного огибания, когда поверхность зуба получается в результате обработки РИ, режущие кромки которого представляют собой профиль сопряженной рейки или профиль зуба сопряженного колеса, и во время обработки инструмент с заготовкой образует сопряженную (правильно зацепляющуюся) зубчатую пару. В этом случае нарезание всех зубьев колеса производится непрерывно в результате качения без скольжения начальных окружностей или прямой рейки зуборезного инструмента по начальной окружности колеса. В результате профиль колеса получается как огибающая к ряду последовательных положений режущих кромок РИ.

На рисунке 7.21 показано образование зубьев рейки 2 зубьями колеса при качении его начальной окружности радиусом R_0 по начальной прямой рейки $p-p$. Из рисунка видно, что к ряду последовательных положений профиля зубьев колеса можно провести огибающую кривую, которая образует необходимый профиль рейки. Профили зубьев сопряженных колес, в данном случае колеса и рейки, являются взаимоогибаемыми кривыми. Поэтому, если рейке сообщить обкаточное движение относительно неподвижного колеса, то огибающая к ряду последовательных положений профиля зубьев рейки будет являться искомым профилем зубьев колеса.

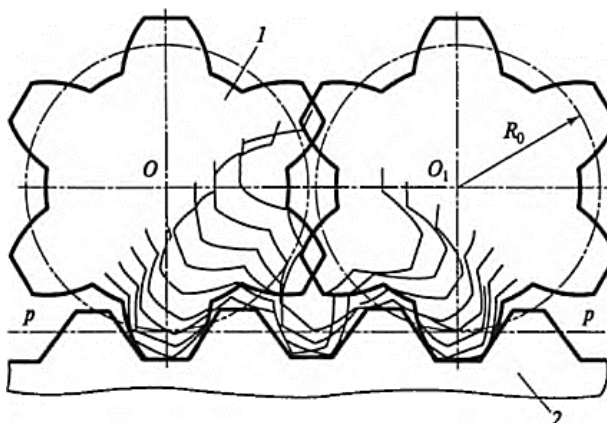


Рисунок 7.21 –Последовательное положение зубьев колеса при качении по рейке

Обычно профиль зубьев колеса задан. По нему надо найти необходимый профиль зубьев инструмента, режущие кромки которого смогли бы правильно нарезать данное зубчатое колесо. В этом и состоит задача профилирования режущего инструмента. В рассмотренном случае вместо рейки необходимо принять зуборезную гребенку или другой инструмент реечного типа – червячную фрезу.

Методом обкаточного огибания работают различные зубообрабатывающие инструменты: червячные фрезы, долбяки, гребенки, шеверы и др.

3) Существует еще метод безобкаточного (бесцентроидного) огибания, при котором центроиды отсутствуют, качения начальных окружностей друг по другу нет, а профиль зуба колеса является огибающей к различным положениям производящей поверхности РИ. Этим методом нарезают винтовые и шевронные зубчатые колеса дисковыми и пальцевыми фрезами. Последовательное формообразование всех зубьев колеса, как и в первом случае, производится методом деления.

Дисковая модульная фреза (рисунок 7.22, а) представляет собой фасонную фрезу обычно с затылованными зубьями, профиль зуба которой повторяет профиль впадины нарезаемого колеса. Пальцевые зуборезные фрезы (рисунок 7.22, б) применяются в тяжелом машиностроении для фрезерования профилей косозубых и прямозубых колес крупного модуля, в том числе и шевронных колес.



а

б

а – дисковая модульная фреза, б – пальцевая зуборезная фреза

Рисунок 7.22 – Схема работы зуборезных инструментов

Профиль РИ, работающего по методу обкаточного огибания, не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса, поэтому одной и той же, например, червячной фрезой или гребенкой можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев. Точность колеса, получающаяся при этом методе, значительно выше точности зубчатых колес, получаемых по методу копирования, что объясняется прежде всего непрерывностью процесса. При этом процессе не требуется производить отдельного деления, что сокращает холостые движения, и поэтому он производительнее метода копирования. К этому необходимо добавить, что возможные неточности делительных механизмов, используемых при методе копирования, ведут к снижению точности полученных зубчатых колес.

Из инструментов для обработки цилиндрических зубчатых колес, работающих по методу обкаточного огибания, наибольшее применение получили червячные зуборезные фрезы, зуборезные долбяки и шеверы.

Червячная фреза при ее установке на станке поворачивается на угол α_0 наклона продольной канавки фрезы при обработке колес с прямыми зубьями и на угол $\alpha_0 \pm \rho$ при обработке косозубых цилиндрических колес; знаки плюс и минус определяют направление наклона зубьев колеса. Червячные фрезы для цилиндрических колес изготавливают, как правило, с затылованными зубьями и насадными по конструкции.

Зуборезный долбяк (рисунок 7.23) – РИ, выполненный в виде зубчатого колеса.



а – насадные; б – хвостовой

Рисунок 7.23 – Внешний вид долбяков

а – наружное нарезание; б – внутреннее нарезание; V_x , V_p – скорости холостого и рабочего хода; V_z , V_d – скорости вращения соответственно заготовки и долбяка;

$S_{вр}$ – направление врезания

Рисунок 7.24 – Схема нарезания зубчатого колеса долбяком

Заготовка в конце каждого рабочего хода долбяка должна отходить от него на небольшую величину. В начале рабочего хода она вновь подходит к долбяку.

Кроме возвратно-поступательного и вращательного движения, долбяк должен быть подведен в радиальном направлении на глубину впадины зуба нарезаемого колеса (в случае нарезания с одного прохода). При нарезании зубчатых колес в два или три прохода величина радиального перемещения долбяка составляет часть от общей глубины впадины зуба нарезаемого колеса.

Долбяками можно обрабатывать не только прямозубые колеса внешнего или внутреннего зацепления, но и колеса с винтовыми зубьями внешнего и внутреннего зацепления, колеса-блоки и колеса с уступами.

Долбяк для колеса с винтовыми (косыми) зубьями представляет собой также зубчатое колесо, но только с винтовым направлением зубьев. На схеме работы долбяка для колеса с винтовыми зубьями (рисунок 7.24) видно, что долбяк, закрепленный на штосселе зубодолбежного станка, движется возвратно-поступательно и, кроме того, для обеспечения винтового движения на станке устанавливается специальный копир, который придает штосселю вращательное движение дополнительно к поступательному движению вдоль оси. Таким образом, с помощью копира и обеспечивается винтовое главное движение долбяка.

Долбяки применяют для предварительного и чистового (окончательного) нарезания зубчатых колес на зубодолбежных станках. Долбяк и заготовка кинематически обкатываются по начальным окружностям без скольжения. Кроме движения обката, долбяк имеет возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки – главное движение резания. Обычно срезание стружки происходит при движении долбяка вниз, при обратном ходе (чтобы избежать во время этого хода трения зубьев).

Протягивание зубьев. Обработка протягиванием впадин между двумя или несколькими зубьями производится протяжкой с профилем, соответствующим профилю зубьев нарезаемого колеса. После каждого прохода протяжки заготовка поворачивается посредством делительного механизма стола. Таким способом нарезают зубья венцов больших размеров на вертикально-протяжных станках с круглым поворотным столом. При этом формируется достаточно точный профиль зубьев, но достичь высокой точности шага трудно из-за погрешностей в делительном механизме станка.

Для изготовления колес внутреннего зацепления применяют одновременное протягивание всех зубьев.

Нарезание конических зубчатых колес. Конические зубчатые колеса с круговой формой зубьев являются наиболее сложным видом зубчатого зацепления. Нарезание пары колес чаще всего производится специальными зуборезными головками по схеме: колесо – двусторонним методом, шестерня – односторонним.

Шлифование конических зубчатых колес с круговыми зубьями. Шлифование зубьев конических зубчатых колес с круговой формой зубьев является наиболее сложной и ответственной операцией, требующей высокой квалификации оператора. Поэтому, развитие зубошлифовальных станков шло в

направлении достижения полной автоматизации цикла обработки, обеспечения быстрой наладки и переналадки станков. Высшим уровнем автоматизации процесса шлифования является создание локальной сети, включающую в себя расчетную станцию, станок и координатно-измерительную машину. Это позволяет производить автоматическую подналадку станков по результатам контроля поверхностей зубьев.

Шлифование зубьев цилиндрических зубчатых колес. Зубошлифование является, в большинстве случаев, операцией финишной зубообработки, на которой формируется окончательная геометрия и точность боковых поверхностей зубьев. Как правило, зубошлифование выполняется после упрочняющей химико-термической обработки, что предъявляет высокие требования к качеству поверхностного слоя. На сегодня наиболее эффективным методом шлифования зубчатых колес является профильное шлифование с использованием высокопористых шлифовальных кругов.

Хонингование зубьев. Технологический процесс зубохонингования нашел широкое применение в производстве зубчатых колес. Например, в авиационной промышленности он используется как суперфинишный процесс обработки после операции зубошлифования. В автомобильной промышленности этот процесс используется как финишный после химико-термической обработки, для устранения термических поводов деталей. Однако в этом случае, процессу ХТО предшествует операция зубошвингования.

Притирка зубьев конических колес. Процесс притирки зубьев конических колес после ХТО является достаточно распространенным в автомобильной промышленности. Правильно осуществляемый процесс притирки может обеспечить высокое качество конических пар в обеспечении эксплуатационных (в том числе и шумовых) характеристик передачи. Однако, предпосылками к этому должно являться обеспечение высокого качества на операциях предшествующей обработки (зубонарезание и ХТО).

Контроль зубчатых колес. Сложность геометрической формы поверхностей зубьев и требование высокой точности ее обеспечения в производстве определяет сложность методов измерения параметров зубчатых колес. Узкоспециализированные приборы уступили место высокоточным многокоординатным измерительным машинам (специализированным и универсальным). Из специализированных измерительных машин следует, в первую очередь, отметить измерительные центры, используя соответствующее программное обеспечение, можно контролировать: цилиндрические зубчатые колеса наружного и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями; конические зубчатые колеса с прямой и круговой формой зубьев; червячные фрезы, шеверы и зуборезные долбяки; червяки и червячные колеса.

Технические требования на изготовление червячных передач

Технологическими базами червячных колес являются отверстия и торцы.

В качестве заготовок червячных колес используют отливки и прокат. При крупносерийном производстве применяют более точные методы получения

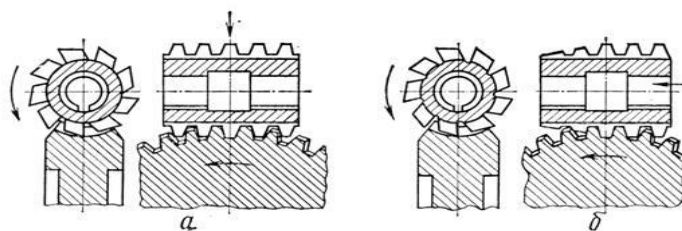
отливок – литье под давлением, литье в кокиль, отливки по выплавляемым моделям. Литьем получают обычно также бронзовые венцы червячных колес.

Червячная пара состоит из червяка и червячного колеса. Как червяк, так и червячное колесо, могут иметь различное конструктивное оформление. Червяк может быть насадным на вал, но может быть выполнен и сплошным в виде вала.

Червячные колеса обычно изготавливаются сборным из двух деталей: венца и ступицы; только в передачах малых размеров встречаются червячные колеса, выполненные в виде одной детали.

Обработка заготовок червяков и червячных колес производится на универсальных токарных, карусельных, зубофрезерных и других станках, а также и специальных.

Червячные колеса нарезают на зубофрезерных и специальных станках следующими методами:



а – метод радиальной подачи; б – метод тангенциальной подачи

Рисунок 7.25 – Фрезерование зубьев червячного колеса

Метод с радиальной подачей обладает высокой производительностью и прост в наладке. Его применяют для обработки червячных колес невысокого качества.

Цельные червяки в виде вала обрабатываются в такой последовательности:

- 1) подрезание и центрование заготовки (прокат, штамповка);
- 2) черновая и чистовая токарные обработки;
- 3) черновое и чистовое нарезание винтовой поверхности;
- 4) термическая обработка;
- 5) шлифование или полирование центровых гнезд;
- 6) шлифование опорных шеек и торцовых поверхностей;
- 7) шлифование винтовых поверхностей (для особо точных);
- 8) полирование винтовых поверхностей.

Обработка червячного колеса производится в следующем порядке:

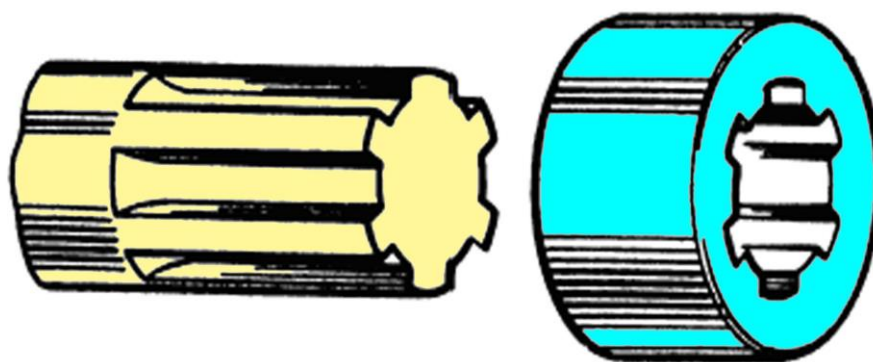
- 1) токарная обработка отверстия и торцов (черновая и чистовая);
- 2) сверление крепежных отверстий;
- 3) черновое и чистовое нарезание зубьев;
- 4) финишная обработка зубьев.

Обработка шлицевых поверхностей

Виды шлицев. Шлицевым называется разъёмное соединение отверстия и вала, когда на валу выполнены выступы определённой формы, а на поверхности отверстия впадины аналогичной формы и количества.

Деталь (охватываемая), на наружной поверхности которой изготовлены выступы, называется шлицевым валом (рисунок 7.26, а).

Деталь (охватывающая), на внутренней поверхности которой изготовлены впадины, называется шлицевым отверстием (рисунок 7.26, б).



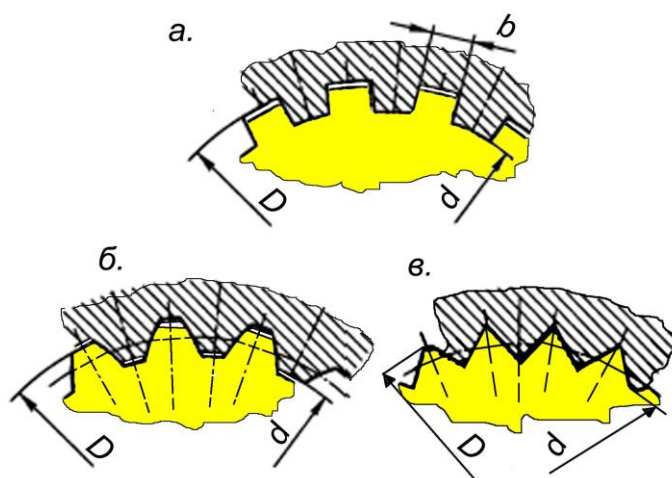
а)

б)

а – шлицевой вал; б – шлицевое отверстие

Рисунок 7.26 – Шлицевые соединения

Форма профиля выступов у вала и пазов у втулки может быть различной, но наибольшее применение нашли прямобочные, эвольвентные и треугольные соединения (рисунок 7.27)



а – прямобочная, б – эвольвентная, в – треугольная

Рисунок 7.27 – Форма профиля выступов

Наибольшее распространение получили шлицевые соединения с прямобочным профилем зуба, которые надёжны и просты в изготовлении.

Эти соединения применяются для подвижных и неподвижных соединений.

Эвольвентные шлицевые соединения наиболее совершенны и имеют следующие достоинства: более технологичны, так как валы одного модуля (одного из основных параметров, через который определяются размеры зубьев шлицевых вала и втулки) могут быть обработаны одним типоразмером обрабатывающего инструмента, которым является червячная фреза, и могут

обеспечить высокую точность при использовании всех отделочных операций (шевингование, шлифование и т.д.);

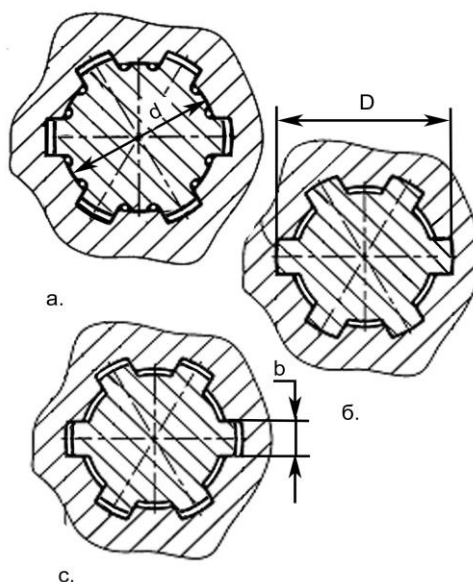
При изготовлении треугольных шлицевых соединений применяют нарезание червячными фрезами, накатывание, наружное и внутреннее протягивание. Последующее дорнование позволяет получить коническое соединение треугольных шлицев.

Контроль среднего делительного диаметра проводится с применением метода проволочек, подобно контролю резьбы.

Методы центрирования. Допуски и посадки шлицевых соединений определяются их назначением и принятой системой центрирования втулки относительно вала.

Выбор способа центрирования зависит от эксплуатационных требований и технологии изготовления шлицевых деталей.

Существует три способа центрирования шлицевых соединений (рисунок 7.27): по поверхности наружного диаметра (D), по поверхности внутреннего диаметра (d) и по боковым поверхностям шлицев (b).



а) по диаметру d , б) по диаметру D , в) по боковым поверхностям b

Рисунок 7.27 – Способы центрирования шлицевых соединений

В условном обозначении шлицевых валов, отверстий и их соединений необходимо указывать поверхность центрирования, число зубьев, номинальные размеры внутреннего (d) и наружного (D) диаметров, поля допусков и посадки по диаметрам и по боковым сторонам зубьев.

В полном виде формула шлицевого соединения будет (7.1):

$$d - 8 \cdot 36 \frac{H7}{f7} \cdot 40 \frac{H12}{a11} \cdot 7 \frac{D9}{f8} \quad (7.1)$$

Эвольвентные шлицевые соединения

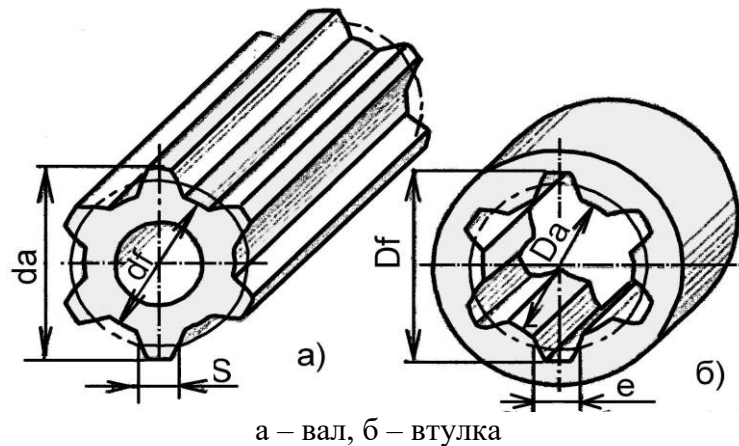


Рисунок 7.28 – Эвольвентные шлицевые соединения

Геометрические характеристики

Профиль зубьев очерчивается окружностью выступов и впадин. Для вала (рисунок 7.28, а) диаметр окружности вершин зубьев обозначают d_a , а диаметр окружности впадин d_f . Для втулки (рисунок 7.28, б) диаметр окружности впадин обозначают D_f , а диаметр окружности вершин зубьев – D_a .

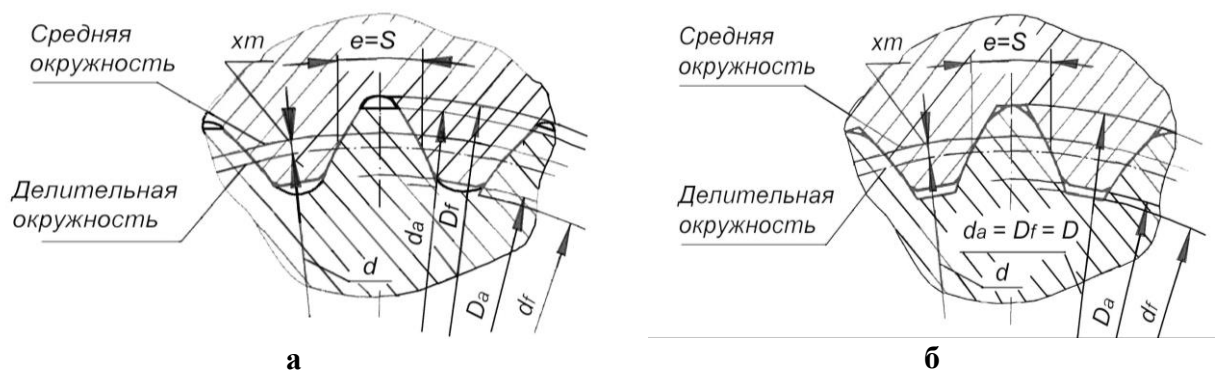


Рисунок 7.29 – Центрирование эвольвентных соединений

Соединения с эвольвентными шлицами выполняют с центрированием по боковым (рабочим) поверхностям (рисунок 7.29, а) или по наружному диаметру (рисунок 7.29, б) наиболее распространен первый способ центрирования.

Профиль эвольвентных шлицев очерчивается, как и профиль зубьев зубчатых колес эвольвентного зацепления, окружностью вершин, окружностью впадин и эвольвентами. Отличие этого профиля заключается в увеличенном угле зацепления 30° (вместо 20°) и уменьшенной высоте зуба $h \sim t$ (вместо $h = 2,25t$), где t – модуль зацепления. По ГОСТ 6033-80 эти соединения предусмотрены для наружных диаметров в интервале от 4 до 500 мм с модулями t от 0,5 до 10 мм при числе зубьев $\zeta = 6 \dots 82$.

Достоинства эвольвентных шлицевых соединений по сравнению с прямобочными: повышенная прочность эвольвентных шлицев (зубьев) на изгиб вследствие утолщения зубьев у основания и на смятие из-за увеличенного числа зубьев; в производстве требуется меньшая номенклатура фрез, так как эвольвентные шлицы одинакового модуля можно нарезать одной фрезой или

долбяком, в то время как при изготовлении прямобочных шлицев для каждого размера и числа зубьев требуется отдельная фреза; при обработке зубьев (шлицев) могут быть использованы совершенные технологические процессы, применяемые для изготовления зубьев зубчатых колес.



Рисунок 7.30 – Виды эвольвентных шлицов

Методы нарезки шлицов на валах (рисунок 7.31)

При единичном, а так же мелкосерийном производстве нарезка шлицов, обычно, производится фрезерованием по различным схемам с использованием одной или двух фрез.

При относительно больших диаметрах отверстий возможно нарезание шлицов методом обкатки круглым долбяком.

Шлицы нарезают фрезерованием, строганием, протягиванием и холодным накатыванием (в основном эвольвентные шлицы).

Технологический процесс обработки шлицев зависит от метода центрирования шлицевого соединения и термической обработки.

На валиках нарезать шлицы можно двумя методами:

- 1) фрезерованием по методу обкатки специальными червячными фрезами на шлицефрезерных или обычных зубофрезерных станках;
- 2) фрезерованием дисковыми или фасонными фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

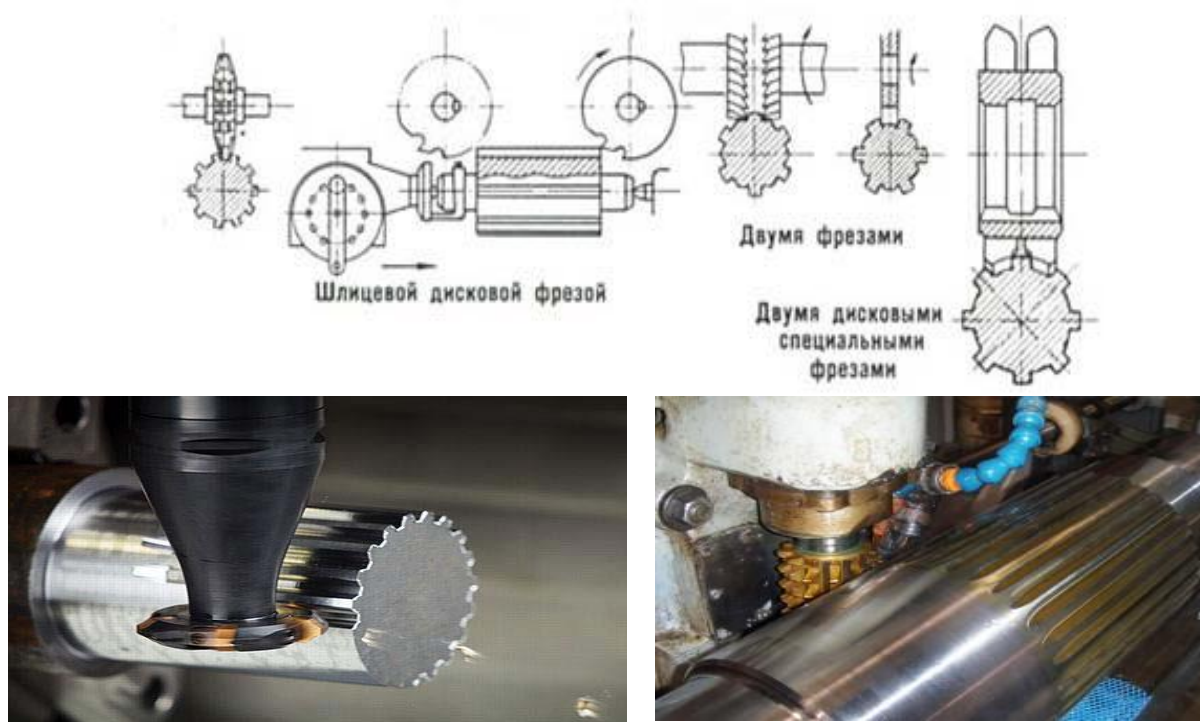


Рисунок 7.11 – Методы нарезки шлицов на валах

Нарезать шлицы можно за один или два рабочих хода, в зависимости от требуемой точности. Можно применять многозаходную червячную фрезу для чернового фрезерования, которая увеличивает производительность, но требуемой точности не дает.

Черновое фрезерование шлицев иногда производят фасонными дисковыми фрезами на горизонтально-фрезерных станках с помощью делительной головки.

Фрезерование дисковыми фрезами не обеспечивает достаточную точность по шагу и ширине шлицев.

Предварительное фрезерование боковых поверхностей шлицев может производиться на горизонтально-фрезерных станках двумя дисковыми быстрорежущими или твердосплавными фрезами с последующей обработкой профиля впадины дисковой профильной фрезой. При этом вставляется припуск на шлифование. Фрезерование впадин в одну операцию производят дисковой фасонной фрезой.

Шлифование шлицев производится после термической обработки и обеспечивает получение чистоты поверхности до $Ra = 0,8$ мкм и точность центрирующего диаметра по 7-8 квалитету.

Различают следующие способы шлифования шлицевых валов:

- 1) шлифование фасонным кругом внутренней и боковых поверхностей шлицев;
- 2) раздельное шлифование в две операции внутреннего диаметра и боков шлицев: а) дисковыми кругами; б) кругами конического профиля;
- 3) шлифование внутреннего диаметра и боков шлицев тремя кругами, установленными на одной оправке.

На рисунке 7.32 показаны схемы шлифования валов на шлице-шлифовальных станках. Если число зубьев равно 6, то на боковых сторонах условия периферийного шлифования благоприятны, и обработку можно выполнять одним кругом, как показано на рисунке 7.32, *а*. Но при большем числе шлицов шлифование необходимо выполнять двумя кругами (рисунок 7.32, *в* и *г*). Правят шлифовальные круги тремя алмазами в оправе (рисунок 7.32, *б*).

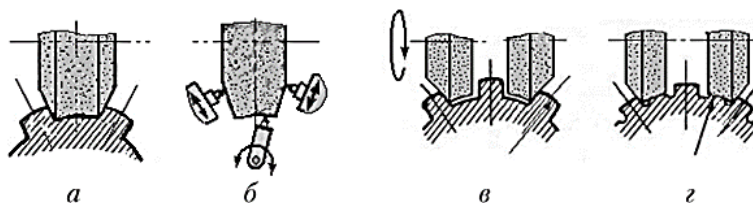


Рисунок 7.32 – Схемы шлифования зубьев валов и правки кругов

Если центрирование выполнено по наружному диаметру, то после закалки вала поверхность наружного диаметра D подвергают круглому шлифрованию.

Шлицевые эвольвентные соединения по ГОСТ 6033-80 применяют так же, как прямобочные в неподвижных и подвижных соединениях. Боковая поверхность зуба очерчена по эвольвенте (как профиль зубьев у зубчатых колес). Этот вид шлицевого соединения отличается от прямобочного повышенными показателями прочности и несущей способности в связи с утолщением зубьев от вершины к основанию, плавным контуром во впадине и увеличенной площадью контакта за счет большого числа зубьев.

Обработка шлицевых отверстий. Технологический процесс обработки шлицевого отверстия состоит из следующих основных операций:

- 1) сверления или зенкерования отверстия и подрезки торца;
- 2) протягивания цилиндрической поверхности и шлицев отдельно либо комбинированной протяжкой (за счёт удлинения протяжки);
- 3) обработки всех наружных поверхностей втулки на станках токарной группы с базой от шлицевого отверстия;
- 4) термообработки;
- 5) калибрования или шлифования отверстия (в зависимости от принятого метода центрирования).

Эвольвентные шлицы во втулке обычно нарезаются на зубодолбежных станках. В настоящее время в массовом производстве внедрено протягивание эвольвентных шлицев. Протягивание эвольвентных шлицев во много раз производительнее долбления. Недостатком этого способа является сложность изготовления протяжки с эвольвентным профилем.

Таким образом, технологический процесс обработки шлицевого вала состоит из следующих основных операций:

- 1) токарной обработки вала;
- 2) обработки шлицев;
- 3) термообработки;
- 4) шлифования внешних поверхностей;

5) шлифования элементов шлицев.

Контроль размеров шлицевого вала и шлицевой втулки осуществляют с помощью поэлементных, гладких калибров (скоб и пробок) и шлицевых комплексных калибров. Калибры для контроля диаметров аналогичны калибрам-скобам и калибрам пробка, применяемых для контроля цилиндрических валов и втулок.



Рисунок 7.33 – Виды шлицевых эвольвентных соединений

Комплект калибров состоит из одного проходного и трех непроходных. Перед проверкой комплексными проходными калибрами размеры отдельных элементов контролируют обычными непроходными калибрами (не менее 3-х положений – поэлементный контроль).

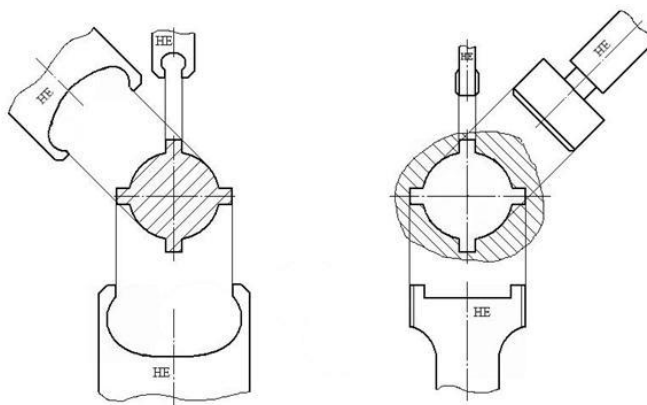


Рисунок 7.34 – Схемы контроля непроходными калибрами

Допуски калибров прямобочных шлицевых соединений – ГОСТ 7951-80.
Допуски калибров эвольвентных шлицевых соединений – ГОСТ 24969-81.

Технология изготовления характерных деталей горных машин

Типовой маршрут изготовления корпусных деталей



Рисунок 7.35 – Обработка корпусных деталей

Последовательность механической обработки корпуса призматического типа с плоским основанием и отверстием с осью, параллельной основанию, следующая.

005 Заготовительная. Заготовки корпусов из серого чугуна отливают в земляные, металлические (кокиль) или оболочковые формы, из стали – в земляные формы, кокиль или по выплавляемым моделям. Заготовки из алюминиевых сплавов отливают в кокиль или литьем под давлением. В единичном и мелкосерийном производствах применяют сварные корпуса из стали. Заготовки корпусных деталей перед механической обработкой проходят ряд подготовительных операций.

010 Фрезерная (протяжная). Фрезеровать, или протянуть плоскость основания начерно и начисто или с припуском под плоское шлифование (при необходимости). Технологическая база – необработанная плоскость, параллельная обрабатываемой поверхности. Оборудование: – в единичном и мелкосерийном производствах – вертикально-фрезерный и строгальный станки; – в серийном – продольно-фрезерный и продольно-строгальный станки с ЧПУ; – в крупносерийном и массовом – барабанно- и карусельно-фрезерные, плоскопротяжные, агрегатно-фрезерные станки.

015 Сверлильная. Сверлить и зенковать (при необходимости) отверстия в плоскости основания. Развернуть два отверстия. Технологическая база – обработанная плоскость основания.

Оборудование – радиально-сверлильный станок или сверлильный с ЧПУ, в массовом и крупносерийном производствах – многошпиндельный сверлильный или агрегатный станок.

020 Фрезерная. Обработка плоскостей, параллельных базовой (при их наличии). Технологическая база – плоскость основания. Оборудование – см. операцию 10.

025 Фрезерная. Обработка плоскостей, перпендикулярных базовой (торцы основных отверстий). Технологическая база – плоскость основания и два

точных отверстия. Оборудование – горизонтально-фрезерный или горизонтально-расточной станок.

030 Расточная. Растачивание основных отверстий (черновое и чистовое или с припуском под точное растачивание). Технологическая база – та же (см. операцию 025). Оборудование: – единичное производство – универсальный горизонтально-расточной станок; – мелкосерийное и среднесерийное – станки с ЧПУ расточно-фрезерной группы и многооперационные станки; – крупносерийное и массовое – агрегатные многошпиндельные станки.

Точность межосевых расстояний, а также точность положения отверстий достигается с помощью: – разметки (от $\pm 0,1$ до $+0,5$ мм); – пробных расточек (до $+0,02$ мм); – координатного растачивания на горизонтально-расточных станках (до $\pm 0,02$ мм); – обработки по кондукторам и шаблонам (до $\pm 0,02$ мм, $\pm 0,03$ мм).

035 Сверлильная. Сверлить (зенковать при необходимости), нарезать резьбу в крепежных отверстиях. Технологическая база – см. операцию 25. Оборудование – радиально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, многооперационный, сверлильный многошпиндельный и агрегатный станки (в зависимости от типа производства).

040 Плоскошлифовальная. Шлифовать (при необходимости) плоскость основания. Технологическая база – поверхность основного отверстия или обработанная плоскость, параллельная базовой (в зависимости от требуемой точности расстояния от базовой плоскости до оси основного отверстия). Оборудование – плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

045 Алмазно-расточная. Тонкое растачивание основного отверстия. Технологическая база – базовая плоскость и два отверстия. Оборудование – алмазно-расточной станок. С целью выдерживания принципа постоянства баз большинство операций обработки (020, 025, 030, 035), за исключением операций подготовки технологических баз (010, 015) и отделки основных поверхностей (040, 045), часто концентрируют в одну операцию, выполняемую на горизонтально-расточном (единичное производство), многооперационном (серийное) или агрегатном (массовое) станке. В маршрут обработки разъемных корпусов дополнительно к вышеприведенным операциям включают: – обработку поверхности разъема у основания (фрезерная); – обработку поверхности разъема у крышки (фрезерная); – обработку крепежных отверстий на поверхности разъема основания (сверлильная); – обработку крепежных отверстий на поверхности разъема крышки (сверлильная); – сборку корпуса промежуточную (слесарно-сборочная операция); – обработку двух точных отверстий (обычно сверлением и развертыванием) под цилиндрические или конические штифты в плоскости разъема собранного корпуса.

Типовой техпроцесс изготовления валов



Рисунок 7.36 – Обработка валов

Рассмотрим основные операции механической обработки для изготовления вала с типовыми конструктивными элементами и требования к ним.

Подготовка технологических баз. Обработка торцов и сверление центровых отверстий, выполняя подрезку торцов и центрование на универсальных токарных станках последовательно за два установа.

Токарная (черновая) обработка. Выполняется за два установа на одной операции или каждый установ выносится как отдельная операция. Производится точение наружных поверхностей (с припуском под чистовое точение и шлифование) и канавок. Это обеспечивает получение точности IT12, шероховатости $Ra = 6,3$ на токарно-винторезных станках.

Токарная (чистовая). Аналогична приведенной выше. Производится чистовое точение шеек (с припуском под шлифование). Обеспечивается точность IT11–10, шероховатость $Ra = 3,2$.

Фрезерная. Фрезерование шпоночных канавок, шпилцев, зубьев, всевозможных лысок.

Шпоночные пазы в зависимости от конструкции обрабатываются либо дисковой фрезой (если паз сквозной) на горизонтально-фрезерных станках, либо пальцевой фрезой (если паз глухой) на вертикально-фрезерных.

Шлицевые поверхности на валах чаще всего получают методом обкатывания червячной фрезой на шлицефрезерных или зубофрезерных станках.

Сверлильная. Сверление всевозможных отверстий.

Резьбонарезная. На закаливаемых шейках резьбу изготавливают до термообработки. Если вал не подвергается закалке, то резьбу нарезают последней операцией (для предохранения резьбы от повреждений). Мелкие резьбы у термообрабатываемых валов получают сразу на резьбошлифо-вальных станках. Внутренние резьбы нарезают машинными метчиками на сверлильных, револьверных и резьбонарезных станках в зависимости от типа производства. Наружные резьбы нарезают плашками, резьбовыми резцами или гребенками на токарно-винторезных станках.

Термическая. Закалка объемная или местная согласно чертежу.

Шлифовальная. Шейки вала шлифуют на круглошлифовальных или бесцентрошлифовальных станках.

Шлицы шлифуются в зависимости от центрирования: – по наружной поверхности – наружное шлифование на круглошлифовальных станках и шлифование боковых поверхностей на шлицешлифовальном полуавтомате одновременно двумя кругами и делением; – по поверхности внутреннего диаметра – шлифование боковых поверхностей шлицев и шлифование внутренних поверхностей по диаметру либо профильным кругом одновременно, либо в две операции.

Типовой техпроцесс изготовления втулок

К деталям класса втулок относятся втулки, гильзы, стаканы, вкладыши, т. е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось. Наиболее часто применяют втулки с $L/D \geq 3$



Рисунок 7.37 – Обработка втулки

Обработка за один установ.

005 Токарная. Подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка торца под сверление, сверление отверстия, точение черновое наружной поверхности со смятием фасок на свободном торце, точение канавок, предварительное развертывание, окончательное развертывание, отрезка. При обработке втулки из трубы вместо сверления производят зенкерование или растачивание отверстия. Выполняется на токарном с ЧПУ, токарно-револьверном, одношпиндельном или многошпиндельном токарном автомате в зависимости от типа производства.

010 Сверлильная. Снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или токарном станке.

015 Сверлильная. Сверление отверстий, нарезка резьбы на вертикально – или радиально-сверлильном станке.

020 Контрольная.

Обработка за два установка.

005 Заготовительная. Резка заготовки из проката или трубы или штамповка.

010 Токарная. В зависимости от типа производства выполняется за одну операцию и два установка (единичное) или за две операции (серийное и

массовое). Первый установ (базирование по наружной поверхности к торцу в патроне) – подрезка свободного торца, сверление и зенкерование или растачивание отверстия (с припуском под шлифование), растачивание канавок и фасок. Второй установ (базирование по отверстию и торцу на оправке) – подрезка второго торца, точение наружных поверхностей (с припуском под шлифование), точение канавок и фасок. В зависимости от типа производства операция выполняется: – в единичном – на токарно-винторезных станках; – в серийном – на токарно-револьверных станках и станках с ЧПУ; – в массовом – на токарно-револьверных, одношпиндельных или многошпиндельных токарных полуавтоматах.

015 Сверлильная. Сверление, зенкерование отверстий, нарезка резьбы. Производится на вертикально-сверлильных станках, сверлильных станках с ЧПУ, агрегатных станках.

020 Термическая. Закалка согласно чертежу.

025 Внутршлифовальная. Шлифование отверстия на внутршлифовальном станке. Деталь базируется по наружному диаметру и торцу в патроне.

030 Круглошлифовальная. Шлифование наружных поверхностей торца на круглошлифовальном или торцекруглошлифовальном станке.

035 Контрольная. При обработке тонкостенных втулок (толщина стенки менее 5 мм) возникает дополнительная задача закрепления заготовки на станке без ее деформаций.

Типовой техпроцесс изготовления дисков

К деталям класса «диски» относятся детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющими одну общую прямолинейную ось при отношении длины цилиндрической части к наружному диаметру менее 0,5. Например: шкивы, фланцы, крышки подшипников, кольца, поршни гидро- и пневмоприводов и т. п.



Рисунок 7.38 – Обработка дисков

Технологические задачи – аналогичные классу втулок: достижение concentricity внутренних и наружных цилиндрических поверхностей и перпендикулярность торцов к оси детали. Технологические базы – центральное отверстие и обработанный торец, причем короткое отверстие является двойной опорной базой, а торец – установочной.

Обработку шкивов средних размеров ($d = 200\text{--}400$ мм) производят на токарных. Крупные шкивы и маховики – на токарных карусельных станках. При обработке на карусельных станках установку на первой операции выполняют по ступице, в которой обрабатывается центральное отверстие и прилегающие к ней торцы. Обод обрабатывают при установке шкива на центрирующий палец по обработанному отверстию и торцу.

Далее представлен типовой маршрут изготовления дисков.

005 Заготовительная. В большинстве случаев – лить заготовку, ковать или штамповать. Мелкие шкивы изготавливают из прутка.

010 Токарная. Растачивание отверстия с припуском под последующую обработку и подрезка торца. Технологическая база – черная поверхность обода или ступицы. Выполняется в зависимости от маршрутов и типа производства на токарном, револьверном или карусельном станке.

015 Токарная. Подрезать второй торец. Технологическая база – обработанные отверстия и торец.

020 Протяжная. Протянуть цилиндрическое отверстие. Технологическая база – отверстие и торец. Станок вертикально-протяжной.

025 Протяжная или долбежная. Протянуть или долбить шпоночный паз. Технологическая база – отверстие и торец. Станок вертикально-протяжной или долбежный.

030 Токарная (черновая). Точить наружный диаметр и торцы обода, точить клиновидные канавки. Технологическая база – отверстие. Станок токарный или многорезцовый токарный.

035 Токарная (чистовая). Точить наружный диаметр и канавки. При криволинейной образующей – на токарно-копировальном станке или токарном станке по копиру.

040 Сверлильная. Сверлить отверстия и нарезать резьбу (если требуется по чертежу). Технологическая база – торец. Станок сверлильный.

045 Балансировочная. Балансировка и высверливание отверстий для устранения дисбаланса. Технологическая база – отверстие. Станок балансировочный.

050 Термическая.

055 Шлифовальная. Шлифование ступиц (если требуется по чертежу). Технологическая база – отверстие. Станок круглошлифовальный.

055 Контрольная.

060 Нанесение антикоррозионного покрытия.

Типовой ТП изготовления фланцев

Главным служебным назначением фланцев является ограничение осевого перемещения вала, установленного на подшипниках. Отсюда следует, что основными конструкторскими базами фланца будут поверхности центрирующего пояса по размеру отверстия в корпусе и торцы. В качестве технологических баз при обработке заготовки целесообразно выбирать базы детали, которые обрабатывают на первых операциях.

В связи с этим на первой операции в качестве технологических баз используют наружную цилиндрическую поверхность и торец большого фланца, а на последующих – посадочную поверхность цилиндрического пояска и его торец. На этих же базах обрабатывают крепежные отверстия и лыски, если они заданы чертежом.



Рисунок 7.39 – Обработка фланцев

Далее представлен типовой маршрут изготовления фланцев.

005 Заготовительная. В зависимости от типа производства и материала – лить, ковать, штамповать заготовку или отрезать из проката.

010 Токарная. Подрезать торец большого фланца и торец центрирующего пояска, точить наружную цилиндрическую поверхность пояска с припуском под шлифование, точить канавку и фаски. Технологическая база – наружная поверхность и торец фланца. Станок токарный, многошпиндельный токарный полуавтомат, токарный с ЧПУ.

015 Токарная. Подрезать второй торец большого фланца, точить его наружную поверхность и фаску. Технологическая база – поверхность центрирующего пояска и его торец.

020 Сверлильная. Сверлить и зенковать отверстия. Технологическая база – та же. Станок вертикально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, агрегатно-сверлильный с многошпиндельной головкой.

025 Фрезерная. Фрезеровать фланец с лысками. Технологическая база – та же плюс крепежное отверстие. Станок вертикально-фрезерный.

030 Шлифовальная. Шлифовать наружную поверхность центрирующего пояска и торец. Технологическая база – наружная поверхность большого фланца и торец. Станок универсально-шлифовальный или торце-круглошлифовальный.

035 Контрольная.

Типовой техпроцесс изготовления зубчатых колес



Рисунок 7.40 – Обработка зубчатых колес

Основные операции механической обработки зубчатого колеса со ступицей 8-й степени точности следующие.

Заготовительная. Для заготовок из проката – резка проката, для штампованных заготовок – штамповка. Штампованные заготовки целесообразно выполнять с прошитыми отверстиями, если их диаметр более 30 мм и длина не более трех диаметров, в противном случае – глухие наметки глубиной не более 0,8 диаметра. Заготовки из чугуна и цветных сплавов (иногда из сталей) получают литьем.

005 Токарная. Выполняется черновая и чистовая обработка базовых поверхностей (торца и отверстия). Технологическая база – наружная поверхность обода и торец, закрепление в кулачках токарного патрона. Оборудование: единичное производство – токарно-винторезный станок; мелко- и среднесерийное – токарно-револьверный, токарный с ЧПУ; крупносерийное и массовое – одношпиндельный или многошпиндельный токарный полуавтомат (для заготовки из прутка – прутковый автомат).

010 Токарная. Точить наружную поверхность обода, обработать торец, противолежащий базовому. Технологическая база – обработанные поверхности отверстия и базового торца. Оборудование – то же (см. операцию 005).

015 Протяжная (долбежная). Протянуть (в единичном производстве – долбить) шпоночный паз или шлицевое отверстие. Технологическая база – отверстие и базовый торец колеса. Оборудование – горизонтально-протяжной или долбежный станок. Применяются варианты чистового протягивания отверстия на данной операции вместо чистового растачивания на предыдущей.

020 Зубофрезерная. Фрезеровать зубья начерно (обеспечивается 8-я степень точности). Технологическая база – отверстие и базовый торец (реализуется оправкой и упором в торец). Оборудование – зубофрезерный полуавтомат.

025 Шевинговальная. Шевинговальная операция повышает на единицу степень точности зубчатого колеса. Операции применяют для

термообрабатываемых колес с целью уменьшения коробления зубьев, так как снимается поверхностный наклепанный слой после фрезерования. Технологическая база – отверстие и базовый торец (реализуется оправкой). Оборудование – зубошевинговальный станок.

030 Термическая. Калить заготовку или зубья (ТВЧ) или цементировать, калить и отпустить – согласно техническим требованиям. Наличие упрочняющей термообработки, как правило, приводит к снижению точности колеса на одну единицу. На поверхностях, которые не должны быть подвергнуты цементации и которые не могут быть защищены предохранительными покрытиями, оставляют специальные защитные припуски, удаляемые на промежуточной операции механической обработки между цементацией и закалкой.

035 Внутршлифовальная. Шлифовать отверстие и базовый торец за один установ. Обработка отверстия и торца за один установ обеспечивает их наибольшую перпендикулярность. Технологическая база – рабочие эвольвентные поверхности зубьев (делительный диаметр колеса) и торец, противоположный базовому. Реализация базирования осуществляется специальным патроном, у которого в качестве установочных элементов используют калибровочные ролики или зубчатые секторы. Необходимость такого базирования вызвана требованием обеспечения равномерного съема металла зубьев при их последующей отделке с базированием по отверстию на оправке. Оборудование – внутршлифовальный станок. При базировании колеса на данной операции за наружную поверхность венца для обеспечения соосности поверхностей вращения необходимо ввести перед или после термообработки круглошлифовальную операцию для шлифования наружной поверхности венца и торца, противоположного базовому (желательно за один установ на оправке). Технологическая база – отверстие и базовый торец. Оборудование – круглошлифовальный или торцекруглошлифовальный станок. Необходимость отделки наружной поверхности венца колеса часто вызывается также и тем, что контроль основных точностных параметров зубьев производится с использованием этой поверхности в качестве измерительной базы.

040 Плоскошлифовальная. Шлифовать торец, противоположный базовому (если необходимо по чертежу). Технологическая база – базовый торец. Оборудование – плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

045 Зубошлифовальная. Шлифовать зубья. Технологическая база – отверстие и базовый торец. Оборудование – зубошлифовальный станок (обработка обкаткой двумя тарельчатыми или червячным кругами или копированием фасонным кругом). При малом короблении зубьев при термообработке (например, при азотировании вместо цементации) операция зубошлифования может быть заменена зубохонингованием или вообще отсутствовать. Наличие зубошлифовальной или зубохонинговальной операции определяется наличием и величиной коробления зубьев при термообработке. Двукратное зубофрезерование и шевингование зубьев до термообработки

может обеспечить 6-ю степень точности. При потере точности во время термообработки на одну степень конечная 7-я степень точности будет достигнута. Введение отделочной операции зубошлифования или зубохонингования необходимо только при уменьшении точности колеса при термообработке больше, чем на одну степень. При этом следует избегать одновременного использования шевинговальной и зубошлифовальной операции, т. к. шевингование вводится, как правило, с целью исключения зубошлифовальной операции.

065 Контрольная. При изготовлении составных и сварных колес предпочтительна окончательная обработка зубьев после сборки венцового колеса на ступице или сборки сварного колеса с валом. Для обеспечения обработки соединительных отверстий в ступице и венцовом колесе в сборе при изготовлении закаленных венцовых колес необходимо предохранять от закалки соответствующие поверхности. При изготовлении колес высокой точности или закаливаемых без последующей зубоотделочной обработки после черновых операций с большим съемом металла желательно производить промежуточную термообработку для снятия внутренних напряжений; при азотировании поверхности зубьев после черногого нарезания осуществляется термическая стабилизация заготовки.

Типовой техпроцесс изготовления рычагов

Выбор материала зависит от служебного назначения и экономичности изготовления детали. Рычаги сложной формы могут быть достаточно экономично изготовлены из заготовки-отливки. Для деталей, работающих в машинах под небольшими, неударными нагрузками, выбирают серый чугун. Для нежестких деталей, работающих с толчками и ударами, недостаточно вязкий серый чугун является ненадежным материалом и заменяется ковким чугуном. Чугунные заготовки рычагов получают обычно литьем в песчаные формы, отформованные по механическим моделям. При повышенных требованиях к точности отливок заготовки отливают в оболочковые формы.

Отливки из ковкого чугуна следует подвергать отжигу и последующей правке для уменьшения остаточных деформаций. Стальные заготовки рычагов получают ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям и реже – сваркой. При штамповке заготовок в небольших количествах применяют подкладные штампы. С увеличением масштаба изготовления заготовок более экономичной становится штамповка их в открытых и закрытых штампах. В серийном производстве штамповки выполняют на штамповочных молотах, фрикционных и кривошипных прессах, а в крупносерийном и массовом – на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах.

При фрезеровании торцов втулок за технологическую базу принимают или поверхности стержня рычага, или противоположные торцы втулок, при их шлифовании – противоположные торцы втулок. При обработке основных отверстий в качестве технологической базы выбирают обработанные торцы втулок и их наружные поверхности, что обеспечивает равенство торцов.

Заключительные этапы обработки выполняют при использовании в качестве технологической базы одного или двух основных отверстий и торцов втулок.



Рисунок 7.41 – Виды рычагов

Рассмотрим операции механической обработки рычагов с общей плоскостью торцов втулок.

005 Заготовительная. Чугунные заготовки получают литьем в песчаные формы или оболочковые. Отливки из ковкого чугуна следует подвергать отжигу и последующей правке для уменьшения остаточных деформаций. Стальные заготовки – ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям, а в единичном производстве – сваркой.

010 Фрезерная. Фрезеровать торцы втулок с одной стороны начерно или начисто и с припуском под шлифование (при необходимости). Технологическая база (установочная) – поверхность стержня или противоположные торцы втулок. Направляющую и опорную базы выбирают из условий удобства установки детали. Станок – вертикально-фрезерный или карусельно-фрезерный.

015 Фрезерная. Аналогично предыдущей операции, но с другой стороны. Технологическая база – обработанные торцы втулок. В серийном и массовом производствах обработка торцов втулок может выполняться одновременно с двух сторон на горизонтально-фрезерном станке набором фрез. Технологическая база – поверхность стержня или поверхность втулок. Если заготовки проходят чеканку (т. е. торцы втулок обжаты прессом), то фрезерную обработку не производят.

020 Обработка основных отверстий. Технологическая база – обработанные торцы втулок и их наружные поверхности, что обеспечивает равенство втулок. В зависимости от типа производства операцию выполняют: – в единичном и мелкосерийном производствах – на радиально- и вертикально-сверлильных станках или расточных станках по разметке со сменой инструмента; – в мелкосерийном и серийном производствах – на сверлильных станках с ЧПУ, на радиально- и вертикально-сверлильных станках по кондуктору со сменой инструмента и быстросменных втулок в кондукторах; – в крупносерийном и массовом производствах – на агрегатных

многошпиндельных одно- и многопозиционных станках, вертикально-сверлильных станках с многошпиндельными головками и на протяжных станках.

Маршрут обработки основных отверстий имеет варианты: – сверление, зенкерование, одно- или двукратное развертывание или двойное растачивание; – сверление и протягивание (для отверстий диаметром более 30 мм), полученные в заготовке прошиванием или литьем, сверление заменяют предварительным зенкерованием. Обеспечение параллельности осей и межосевого расстояния основных отверстий достигается следующим образом (в порядке убывания точности): – одновременной обработкой несколькими инструментами на многошпиндельных станках; – последовательной обработкой при неизменном закреплении заготовки; – последовательной обработкой на разных станках, в разных приспособлениях.

030 Обработка шпоночных пазов или шлицевых поверхностей в основных отверстиях.

035 Обработка вспомогательных отверстий с нарезанием в них резьб (если нужно), пазов и уступов. Технологическая база – основные отверстия (одно или два) и их торцы.

040 Плоское шлифование торцов втулок. Выполняется при повышенных требованиях к шероховатости и взаимному расположению торцов втулок на плоскошлифовальном станке с переустановкой. Технологическая база – торцы втулок.

045 Контрольная.

В зависимости от конкретных условий последовательность обработки поверхностей рычагов может изменяться. Применяют варианты маршрута, в которых операции 010 и 020 меняются местами или объединяются. Маршрут обработки рычагов с торцами втулок в разных плоскостях: – обрабатывают торцы втулок с одной стороны; – обрабатывают основные отверстия с той же стороны; – обрабатывают торцы втулок с другой стороны; – обрабатывают оставшиеся поверхности.

Раздел VIII. Виды изнашивания деталей машин

Глава 8.1 Основные характеристики и закономерности изнашивания деталей машин

Виды изнашивания деталей машин

Основные понятия, термины и показатели изнашивания

Проектирование машин, удовлетворяющих высоким требованиям надежности, долговечности и безопасности эксплуатации, невозможно без решения задач, связанных с созданием условий и обеспечением режимов оптимального взаимодействия поверхностей пар трения, т. е. задач, стоящих перед трибологией и триботехникой.

Трибология – наука о трении и процессах, сопровождающих трение. Триботехника – наука о контактном взаимодействии тел при их относительном движении, охватывающая весь комплекс вопросов трения, изнашивания и смазывания машин. Основополагающие законы триботехники нашли практическое применение в области разработки, создания, эксплуатации и ремонта разнообразных объектов и технических средств.

Технологу трибология и триботехника дают возможность выбрать наиболее эффективные методы обработки и упрочнения материалов, а специалисту, занимающемуся эксплуатацией, – обеспечить надлежащий режим эксплуатации и обслуживания машин. Трение возникает при относительном перемещении рабочих поверхностей деталей и сопровождается их изнашиванием.

Изнашивание – это процессы разрушения, отделения частиц материала с поверхности твердого тела и накопления остаточной деформации при трении. Изнашивание проявляется в постепенном изменении размеров и формы тела, а также в изменении взаимного расположения поверхностей детали. Оно приводит к ухудшению функциональных показателей работы машины и определяет ее долговечность. В результате изнашивания нарушается кинематическая точность механизмов, изменяется характер нагружения, появляются дополнительные нагрузки, вибрации и шумы. В основе изнашивания лежат следующие процессы.

Многократное механическое и термическое воздействие на поверхность детали

Многократное механическое воздействие, при котором контактные напряжения превышают предел текучести, вызывает пластическую деформацию материала и приводит к накоплению остаточных деформаций. В результате этого может происходить разупрочнение и разрушение материала, а также коробление изделия. Нагрев поверхности детали при трении до высокой температуры приводит к тепловому изнашиванию, при котором происходит

разрушение «сварившихся» неровностей поверхности. Возникновение высоких локальных температур на участках микроконтактов приводит к образованию «мостиков сварки», которые вызывают вырывание частиц материала при относительном перемещении деталей. Циклическое воздействие на металл детали механических и термических напряжений вызывает образование микротрещин в глубине поверхностного слоя с последующим выкрашиванием частиц металла.

Химико-термические воздействия среды на поверхность детали

Приводят к изменению физико-механических свойств материала, образованию адсорбированных и окисных пленок.

Наличие смазки в зоне контакта кроме положительного эффекта может оказывать расклинивающее действие в микротрещинах и способствовать разрушению поверхностного слоя. Так, при расклинивающем действии противоизносной присадки, попавшей при работе газораспределительного механизма в поверхностную трещину, может произойти излом распределительного вала (рисунок 8.1). Вид излома распредвала носит явно однородный характер и не имеет двух зон, характерных для усталостного излома.



Рисунок 8.1 – Излом вала, возникший при расклинивающем действии присадки

Молекулярно-механическое взаимодействие контактирующих поверхностей

Сопровождается возникновением и разрушением фрикционных связей, в результате которых осуществляется перенос материала с одной поверхности на другую.

Износ – это некая величина, с помощью которой количественно оценивается изменение размеров, объема и массы деталей, произошедшее в результате изнашивания. Кроме этого, изнашивание характеризуется скоростью, т. е. отношением величины износа к интервалу времени, в течение которого он возник, или интенсивностью изнашивания – отношением величины износа к пути, на котором произошло изнашивание, или к величине выполненной работы.

Повреждаемость – это процесс резко выраженного, недопустимого изменения геометрических параметров и свойств материала деталей в процессе эксплуатации. К повреждениям относятся усталостные трещины и выкрашивание материала, пробоины, коррозия, остаточные деформации (коробление) и др.

Таким образом, все виды дефектов, возникающих в процессе эксплуатации деталей, подразделяются на допустимые (например, износ) и недопустимые (например, повреждения).

Классификация видов изнашивания

Процессы, вызывающие изнашивание и повреждаемость деталей, работающих при различных условиях и режимах, протекают по-разному и зависят от многих факторов. Поэтому для снижения интенсивности изнашивания и повышения долговечности изделий большое значение приобретает классификация видов изнашивания, позволяющая выделить доминирующие процессы. Классификация (рисунок 8.2) предусматривает три основных вида изнашивания: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.

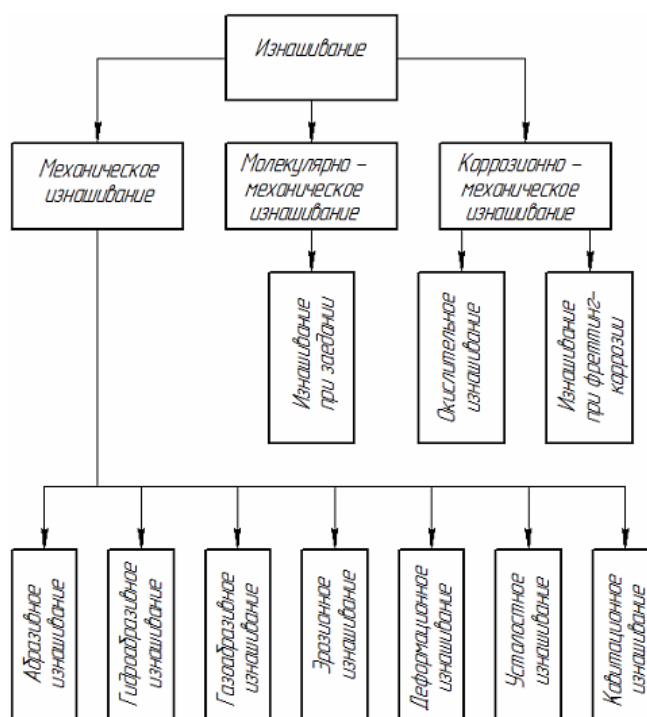


Рисунок 8.2 – Классификация видов изнашивания

Механическое изнашивание – утрата первоначальной геометрии и свойств материала детали в результате абразивного, циклического, кавитационного, деформационного и других воздействий на изделие. Оно возникает при контакте и взаимном перемещении сопряженных поверхностей, а также при перемещении твердых частиц (абразива), потоков жидкости и газа относительно поверхности детали.

Молекулярно-механическое изнашивание проявляется в схватывании металлов, т. е. образовании металлической связи, которая при относительном перемещении деталей приводит к вырыванию частиц металла с одной из поверхностей и переносу их на другую, как правило, более твердую. При малой скорости скольжения деталей размягчение металла частицы не происходит и она, находясь в твердом состоянии, будет оказывать царапающее действие на сопряженную поверхность. При больших скоростях металл частицы легко пластифицируется и размазывается по поверхности.

Коррозионно-механическое изнашивание – результат механического воздействия сопряженных поверхностей, которое сопровождается химическим или электрохимическим взаимодействием материала детали с агрессивной средой.

Далее приводится краткая характеристика видов изнашивания.

Абразивное изнашивание – механическое изнашивание материала, которое происходит в основном в результате режущего или царапающего действия твердых частиц (абразива), находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Этот вид изнашивания характерен для рабочих органов дорожных машин.

Эту категорию разрушения из-за малых объемов отделяющихся частиц выделяют в особый вид, называемый истиранием. Истирание происходит при различных условиях контактного взаимодействия сопряженных поверхностей.

Гидро и газоабразивные виды изнашивания возникают при действии твердых частиц, взвешенных в жидкости или газе, которые перемещаются относительно изнашиваемой поверхности.

Деформационное изнашивание – процесс образования остаточных деформаций, которые проявляются в отклонении оси от прямолинейности или какой-либо другой формы, а также в нарушении взаимного расположения поверхностей деталей.

Усталостное изнашивание – утрата механических свойств и разрушение металлических деталей под действием циклических нагрузок.

Оно происходит в результате зарождения, развития и распространения усталостных трещин в детали. Этот вид разрушения характерен для деталей, работающих в условиях трения качения и качения с проскальзыванием, таких как подшипники качения, опоры качения, катки, кулачки, зубчатые колеса и др. Трещины зарождаются либо на поверхности в местах концентраторов напряжений, либо в глубине поверхностного слоя в местах максимальных контактных напряжений. Развитие усталостных трещин приводит к выкрашиванию частиц металла, в результате чего поверхность покрывается осповидными впадинами. При знакопеременном нагружении развитие трещин приводит к усталостному излому, например, первичных валов коробки передач или коленчатых валов (рисунок 8.3).

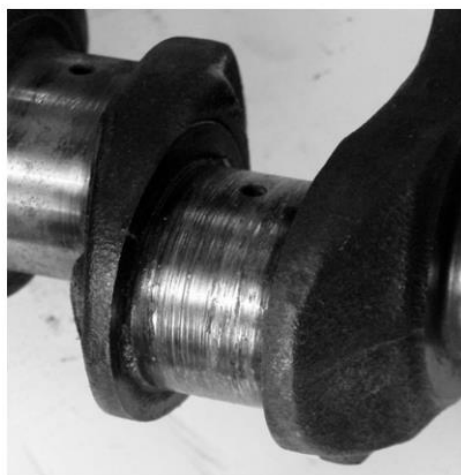


Рисунок 8.3 – Вид усталостного излома коленчатого вала

Кавитационное изнашивание – процесс механического разрушения материала детали от соприкосновения его с движущейся жидкостью, в которой нарушается сплошность ее объема из-за образования и исчезновения полостей, в зоне которых при повышенных давлениях, конденсации паров и растворении газов создаются условия для интенсивных гидравлических микроударов, разрушающих деталь.

Изнашивание при фреттинге (англ. *fretting*, от *fret* – разъедать, подтачивать) имеет место при малых многократных колебательных перемещениях одной сопряженной поверхности относительно другой (различают возвратно-поступательные и возвратно-вращательные перемещения).

Изнашивание при схватывании возникает при разрыве масляной пленки, обнажении и взаимодействии ювенальных поверхностей сопряженных деталей. Под действием молекулярных сил происходит твердофазная сварка локальных поверхностных контактов, которая при относительном перемещении деталей вызывает глубинное вырывание материала с одной поверхности, перенос его на другую поверхность и абразивное воздействие образовавшихся неровностей на сопряженные поверхности, т. е. задир (рисунок 8.4).



а



б

Рисунок 8.4 – Шейка и вкладыш коленчатого вала со следами задира

Схватывание также может вызывать заедание узла трения. При этом действующие движущие силы могут привести к значительным деформациям деталей механизма.

Эрозионное изнашивание – изменение размеров и шероховатости твердого тела в результате механического воздействия на него потока жидкости или газа в отсутствии абразивных частиц. Интенсивность эрозии во многом зависит от агрессивности и температуры среды. В автомобиле эрозии часто подвергаются клапаны газораспределительного механизма (рисунок 8.5), жиклеры карбюратора, детали амортизаторов.



Рисунок 8.5 – Вид эрозионных повреждений клапана

Интенсивность изнашивания зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- характер и периодичность действующих нагрузок, скорость перемещения, удельное давление и температура в зоне контакта, т. е. все то, что определяет вид изнашивания;

- конструкция машин и узлов, определяющая условия нагружения, соответствие конструктивной прочности деталей приложенным нагрузкам, а также технологичность и ремонтпригодность конструкции в отношении технического обслуживания и ремонта;

- физические параметры, такие как температура, твердость поверхностей деталей и др.;

- технологические параметры, такие как точность изготовления размеров и формы детали, шероховатость и волнистость её поверхности;

- промежуточная среда – качество и способ подвода смазки, наличие в зоне контакта вторичных структур и абразива (размеры, форма и твердость абразивных частиц);

- условия технического обслуживания и ремонта: качество применяемых горюче-смазочных материалов, квалификация обслуживающего персонала, своевременность и качество выполнения технического обслуживания и ремонта;

- рабочая (окружающая) среда – температура и скорость движения среды, химический состав, обуславливающий ее агрессивность.

Производственный процесс ремонта машин

Ремонт – это комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности объекта (изделия) и восстановлению ресурса объекта или его составных частей.

Ремонт машин – это наука, занимающаяся изучением причин снижения долговечности машин, разработкой вопросов поддержания их в работоспособном состоянии и осуществления технологии и организации восстановления их ресурсов.

Технология ремонта машин – синтезирующая научная дисциплина, использующая основные положения общинженерных и специальных дисциплин.

Восстановление детали – комплекс технологических операций по возобновлению исправности и (или) работоспособности детали с условием восстановления ее размеров и ресурса до уровня новой детали.

Сюда относятся технологические процессы, в которых используется наращивание деталей наплавкой, гальваническим способом, обработкой давлением, постановкой колец, резьбовых вставок и др.

Ремонтное производство – осуществленный производственный процесс ремонта машин на предприятии с заданной программой.

Производственным процессом называется совокупность всех действий людей и орудий производства, направленных на превращение неисправной машины в работоспособную, отвечающую техническим требованиям.

Производственный процесс включает в себя не только разборку, сборку машины и восстановление деталей, но также контроль качества, транспортировку и хранение продукции, подачу электроэнергии, сжатого воздуха, подвод воды и другие элементы деятельности предприятия.

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая действия по изменению технического состояния ремонтируемых машин и оборудования. Отличие производственного процесса от технологического заключается в наличии вспомогательных операций, таких, как: подготовка средств производства и организация рабочего места, транспортировка объектов ремонта и обеспечение необходимыми материалами, хранение запасных частей и материалов и т.д.

Технологический процесс, в свою очередь, подразделяется на ряд технологических операций и переходов.

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, т.е. на части производственной площади цеха, где размещены исполнители работы и технологическое оборудование. Например, технологический процесс ремонта шатунно-поршневого комплекта состоит из операций разборки, контроля, ремонта или восстановления отдельных деталей, комплектации, сборки и контроля собранного комплекта.

Виды подготовок к ремонту

Своевременное и качественное проведение ремонтов горных машин и оборудования невозможно без проведения предварительной подготовки – технической, материальной и организационной. Техническая подготовка ремонта включает в себя конструкторскую и технологическую подготовки. Конструкторская подготовка заключается в разработке ремонтных чертежей (ГОСТ 2604.0-77) на ремонтируемые, восстанавливаемые и изготавливаемые детали и чертежей на технологическую оснастку. В настоящее время для большинства машин разработаны типовые технологические карты ремонта, позволяющие выполнить заранее их техническую подготовку, обеспечивающую сокращение сроков пребывания в ремонте машин и его высокое качество.

К основным технологическим операциям, выполняемым при ремонте, относятся: приемка машин в ремонт; их наружная очистка и мойка; разборка машин на агрегаты, сборочные единицы, детали; мойка деталей; контроль и дефектация деталей; изготовление или ремонт (восстановление) деталей, металлоконструкций, электрического, гидравлического и пневматического оборудования; комплектация сборочных единиц и агрегатов; общая сборка, регулировка и наладка; испытание вхолостую и под нагрузкой.

Заключительные операции ремонта включают: доставку машин на место использования по назначению; их промышленное испытание; сдачу отремонтированных машин.

Сдача машины в ремонт и приемка из ремонта

В ремонт поступают машины, отработавшие полный межремонтный период и по своему состоянию требующие капитального ремонта; с дефектами базовых деталей, устранение которых не предусмотрено действующей нормативно-технической документацией на ремонт; с дефектами, возникшими в результате аварий или нарушения правил эксплуатации.

При сдаче машины в ремонт и приемке машины из ремонта руководствуются техническими условиями на сдачу-приемку машин, агрегатов и сборочных единиц в ремонт. Согласно этим условиям, отправляемые в капитальный ремонт машины должны иметь следующую документацию: технический паспорт; наряд на ремонт, акт технического состояния; шнуровую книгу на ресиверы, компрессоры; сопроводительный лист и опись снятых с машины мелких деталей, а также аварийный акт, если машина направляется в ремонт после аварии.

При выдаче машины из ремонта ремонтное предприятие прилагает: технический паспорт завода изготовителя с отметкой о проведенном ремонте; акт технического состояния; акты испытаний; гарантийный паспорт; а также сопроводительный лист и опись. Гарантийный срок работы отремонтированного оборудования устанавливается коэффициентом 0,8 от гарантированного срока работы оборудования заводского исполнения.

Мойка машин и деталей

При ремонтных работах применяют трехстадийную мойку горных машин, эксплуатируемых при интенсивном загрязнении и одно- и двухстадийную – для сборочных единиц и деталей машин, работающих в закрытых помещениях.

Трехстадийная мойка включает: наружную мойку машин (агрегатов), мойку частично разобранных агрегатов; мойку деталей полностью разобранных агрегатов в крупных мастерских и на ремонтных заводах.



Рисунок 8.6 – Мойка машин

Очистку поверхностей деталей от пыли, грязи и других загрязнений не жирового происхождения, производят струей воды температурой 70-80 °С. Промывка в каустическом растворе алюминиевых деталей не разрешается, так как щелочь их разрушает. Более высокое качество очистки и мойки деталей получают с использованием ультразвука.

После мойки детали подлежат дополнительной очистке и обезжириванию, т.к. они влияют на качество дефектации и восстановления изношенных деталей.

Разборка машин и агрегатов

Конечная цель разборки – сохранение деталей для повторного использования. Поэтому правильная организация и последовательность выполнения разборочных работ значительно влияют на продолжительность и трудоемкость разборки, сохранность деталей и в конечном итоге на качество и стоимость восстановления ремонтируемых объектов.

Последовательность разборки изделия может быть отражена в маршрутных картах, а также в маршрутных схемах разборки. Степень разборки

определяют видом ремонта и техническим состоянием объектов разборки. При капитальном ремонте на специализированных ремонтных предприятиях машины разбирают на агрегаты и сборочные единицы, а агрегаты и сборочные единицы – на детали на специализированных постах. При этом под деталью понимают составной элемент изделия, состоящий из однородного материала без применения сборочных операций, а под агрегатом и сборочной единицей – составной элемент изделия, состоящий из двух и более деталей, соединенных между собой посредством сборочных операций.

В процессе разборки не рекомендуется разукomплектовывать соединенные пары, которые на заводе-изготовителе обрабатывали в сборе или подвергали балансировке (крышки коренных подшипников с блоком цилиндров, крышки шатунов с шатунами, картер сцепления с блоком цилиндров, коленчатый вал с маховиком двигателя), а также приработанные пары деталей (конические шестерни главной передачи, распределительные шестерни, шестерни насосов смазочной и гидравлической систем и т.д.). Такие детали связывают или вновь соединяют болтами. В процессе разборки необходимо использовать стенды, съемники, специальные приспособления и инструменты. При выпрессовке подшипников, сальников, втулок применяют съемники, оправки и выколотки с мягкими наконечниками (как правило, медными или алюминиевыми). Если выпрессовывают подшипник из ступицы или стакана, то усилие прикладывают к наружному кольцу, а при снятии с вала – к внутреннему.

Контроль и дефектовка деталей

Дефектовку деталей выполняют для определения их технического состояния и возможностей дальнейшего использования. Основанием для дефектовки являются технические условия, где указываются возможные дефекты деталей, способы их определения, признаки выбраковки, размеры и технические характеристики деталей, не подлежащих ремонту, ремонтируемых или используемых без ремонта, способы восстановления или ремонта деталей. Сортируют детали по технической документации, в которой указывают, браковочные признаки (недопустимые дефекты); размеры, подвергаемые контролю, их допускаемые отклонения для годных геометрической формы (биение, несоосность, овальность, конусность, неперпендикулярность и др.).

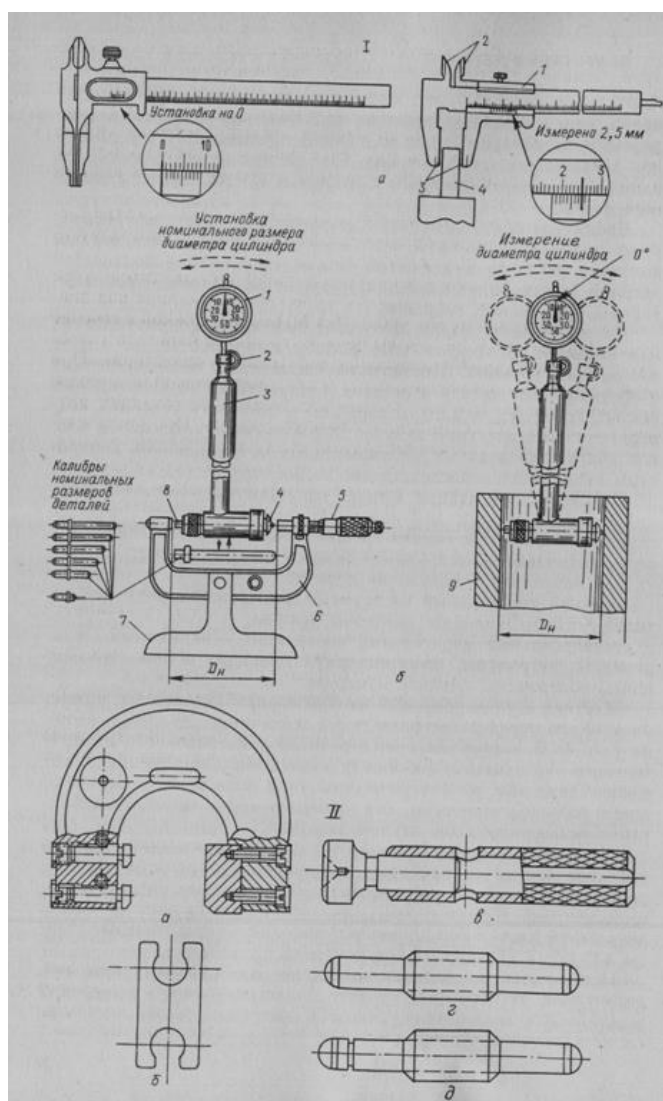
Методы дефектоскопии и контроля

Первая стадия сортирования – внешний (визуальный) осмотр с применением простейших измерительных средств (масштабной линейки, штангенциркуля, микрометра и др.), при котором выбраковывают детали с недопустимыми дефектами (повреждениями), хорошо видными невооруженным глазом (полломками, трещинами, разрушениями швов, большими остаточными деформациями, износом, коррозией и др.). На второй стадии оставшиеся детали проверяют специальными приборами для выявления

мелких и скрытых трещин различными методами: магнитным, люминесцентным, рентгеновским, гамма-лучевым, ультразвуковым и красками.



Рисунок 8.7 – Методы дефектоскопии



I – а) штангенциркуль, б) нутромер;
II – а, б) калибр-скоба, в-д) калибр-пробка
Рисунок 8.8 – Инструменты для измерения деталей



Рисунок 8.9 – Проведение дефектоскопии

Визуальным методом выявляется значительная часть дефектов деталей и узлов оборудования (вмятины, трещины, нарушение плотности заклепочных и сварных соединений, выпучины, разрушение футеровки и др.). Для более точного определения повреждений применяют оптические приборы, главным образом лупы простые, а в некоторых случаях биноклярные.

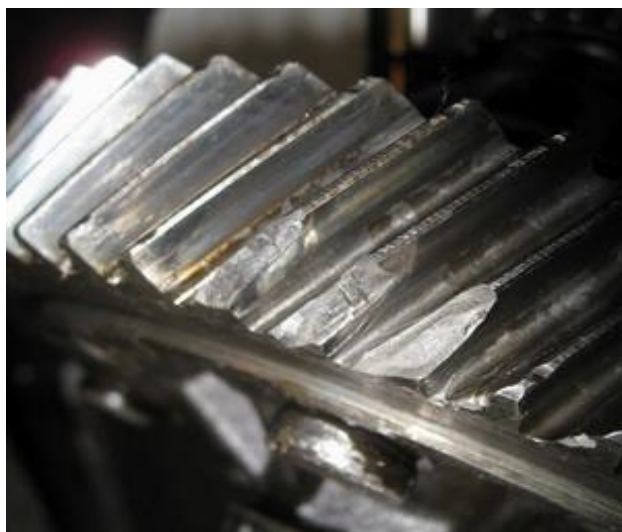


Рисунок 8.10 – Дефекты зубчатого колеса

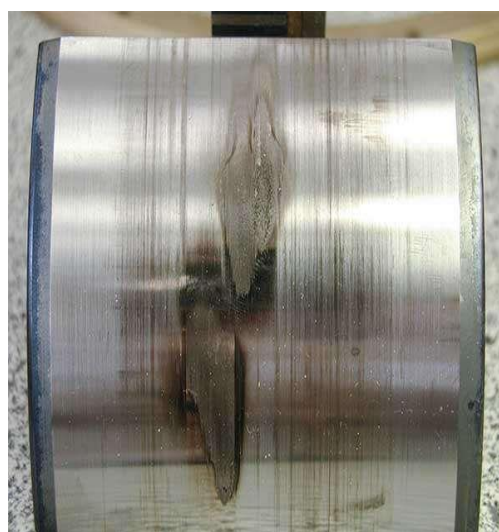


Рисунок 8.11 – Дефекты обечайки

Зубчатые колеса и шестерни (рисунок 8.10) выбраковываются при изломе зубьев, трещинах, питтинге на зубьях, отслоении цементации, при значительном износе по толщине и длине зуба, а также при износе посадочных мест, шлицевых впадин и шпоночных канавок.

Подшипники качения (рисунок 8.12) выбраковываются при обнаружении трещин, раковин, шелушения, рисок, цветов побежалости на элементах подшипников, надломов и трещин сепараторов.

При всей простоте визуального метода с его помощью обнаруживаются не все дефекты.

Магнитный метод, основанный также на свойстве магнитного потока образовывать местные поля рассеивания в зоне скрытых трещин, раковин и посторонних включений.



Рисунок 8.12 – Дефекты подшипников качения

При магнитопорошковом способе деталь устанавливают на стол дефектоскопа, намагничивают 2-3-кратным включением тока на 1,5-2 с. и поливают магнитной суспензией. Смесь магнитного порошка осаждается в месте поля рассеивания, указывая расположение дефекта. Деталь затем размагничивают.

Схемы дефектоскопии

Для выявления дефектов в сварных швах (рисунок 8.13) и трещин в элементах металлоконструкций более пригоден магнитографический способ, заключающийся в намагничивании контролируемого элемента конструкции вместе с прижатой к его поверхности магнитной лентой с последующим воспроизведением и расшифровкой записи в стационарных условиях с помощью воспроизводящей аппаратуры.

Эскиз дефекта	Характер дефекта	Эскиз дефекта	Характер дефекта
	Подрезы		Неравномерная ширина шва
	Непровар в корне шва		Наружные продольная и поперечная трещины
	Утяжка		Трещина, развившаяся от стянутого несплавления
	Чрезмерное усиление шва		Трещина в шве на остающейся подкладке
	Наплыв		Поры
	Незаплавленный кратер		Шлаковые включения
	Западание между валиками		Непровар между слоями

Рисунок 8.13 – Дефекты сварных швов

Методы дефектоскопии, основанные на свойствах звуковых волн, разделяются на звуковой и ультразвуковой. Возможностью выявления дефектов с помощью звука начали пользоваться сравнительно давно. При звуковом методе контролируемую деталь обстукивают молотком и по звуку, который она издает, определяют наличие или отсутствие дефектов.

Более современным методом выявления дефектов, основанным на свойствах звуковых волн, является ультразвуковой метод. Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в виде направленных пучков и отражаться от дефекта (трещины, раковины, непровара и др.).

Методы, основанные на молекулярных свойствах жидкостей, применяют для выявления поверхностных дефектов деталей, изготовленных из немагнитных материалов.



Рисунок 8.14 – Капиллярный метод

Так, по люминесцентному методу на обезжиренную поверхность детали наносят люминофор, который проникает в ее трещины. Излишки люминофора удаляют, деталь облучают ультрафиолетовыми лучами. Оставшийся в трещинах люминофор при облучении ярко светится. Этот метод применяют при выявлении мелких поверхностных трещин в высокоуглеродистых и легированных сталях, пластмассах и цветных металлах.



Рисунок 8.15 – Люминесцентный метод

Рентгеновский метод требует использования сложной и дорогой аппаратуры и имеет в ремонтном деле ограниченное применение.

Методы дефектовки, основанные на гидравлическом и воздушном давлении, применяются при определении водонепроницаемости швов и систем

трубопроводов. Кроме того, этими методами пользуются для дефектовки тех деталей, которые работают под давлением. Водо- и газонепроницаемость гидро- и пневмоцилиндров, корпусов редукторов, базовых деталей двигателей внутреннего сгорания и др. проверяют избыточным давлением жидкости или воздуха. Его значение и время выдержки указывают в технических условиях.

Твердость деталей определяют стационарными и переносными твердомерами.

Предельный износ деталей устанавливают в технической документации на основании общих принципов.

Способы восстановления деталей горных машин

Если для изношенной детали применяется несколько видов восстановительных операций (предварительная механическая обработка изношенной рабочей поверхности(ей) детали, наплавка, окончательная механическая обработка наплавленной рабочей поверхности, закалка, механическое упрочнение), то данный комплекс восстановительных работ часто называют ремонтом.

При выборе способа восстановления деталей, необходимо учитывать экономическую целесообразность восстановления.

В ремонтном деле находят широкое применение разнообразные способы восстановления изношенных поверхностей деталей изготовленных из различных материалов.

Восстановление деталей пластическим деформированием. Пластическая деформация металлов – это изменение формы металлического тела под действием механической нагрузки, причем это изменение не сопровождается разрушением тела и не исчезает после снятия нагрузки

Для восстановления деталей применяют раздачу, обжатие, осаживание, вдавливание, накатку, вальцовку и правку (рисунок 8.16).

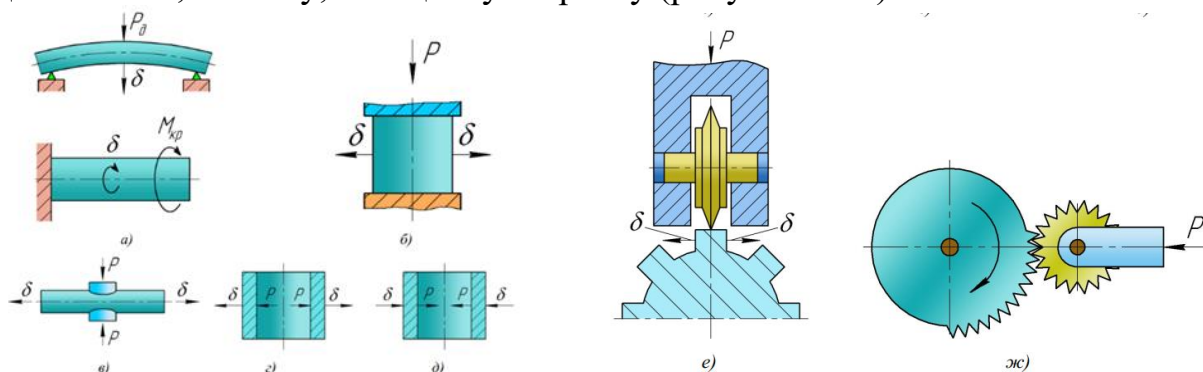


Рисунок 8.16 – Методы восстановления деталей

Стальные термически не обработанные детали с низким содержанием углерода (до 0,3 %), а также детали из цветных металлов и сплавов деформируются без нагрева. Детали, изготовленные из стали с высоким содержанием углерода (более 0,3 %), а также с легирующими присадками

требуют предварительного нагрева вследствие большого сопротивления деформации.

Восстановление деталей способом ремонтных размеров

При данном способе восстановления с поверхности одной из сопрягаемых деталей механической обработкой удаляют изношенный слой металла, и она получает новый размер – ремонтный, отличный от номинального. Другая деталь заменяется новой с соответствующими ремонтными размерами или восстанавливается под размер первой.

В ремонтном производстве используются детали с тремя видами ремонтных размеров: стандартными; регламентированными; свободными.

При определении ремонтных размеров детали необходимо учитывать то, что ее износ может быть равномерным или неравномерным.

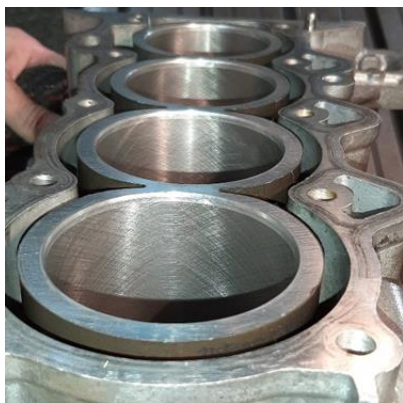


Рисунок 8.17 – Ремонт деталей

Способ ремонтных размеров широко применяется в условиях ремонтных предприятий и является по сравнению с другими способами наиболее дешевым.

Ручная электродуговая сварка и наплавка

Для электродуговой сварки применяют постоянный и переменный токи, причем при сварке постоянным током используют прямую и обратную полярность.



1 – электрод; 2 – деталь; 3 – генератор

Рисунок 8.18 – Схема установки дуговой сварки постоянным током прямой (а) и обратной (б) полярности

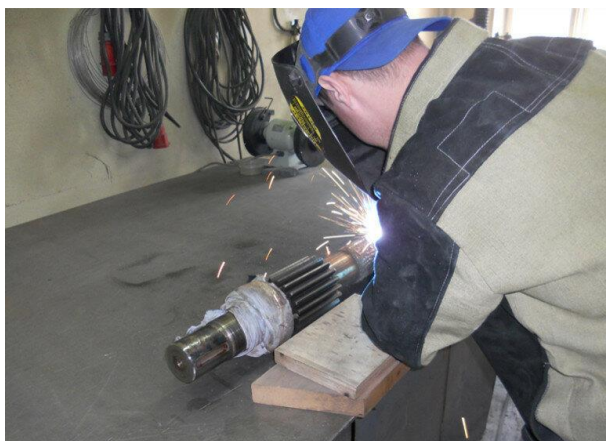


Рисунок 8.19 – Сварка детали

При выборе марки и типа электрода необходимо учитывать условия работы детали, свариваемость и механические свойства.

Газовая сварка и наплавка

На горных предприятиях широкое распространение получила сварка и наплавка металла ацетилено-кислородным пламенем, посредством которого можно выполнить следующие работы: сварку тонкостенных стальных изделий, чугунных деталей сложной конфигурации, деталей из цветных металлов и сплавов; наплавку твердых сплавов; поверхностную закалку; резку металлов; пайку твердыми припоями и др.



Рисунок 8.20 – Газовая сварка

Аппаратура для газовой сварки и наплавки включает ацетиленовые и кислородные баллоны, редукторы для горючих газов, рукава и горелки.

Производительность газовой сварки и наплавки зависит от расхода ацетилена, который определяется номером применяемой горелки. Чем больше

номер горелки, а следовательно, и отверстие истечения газа, тем больше расход ацетилена, тем выше скорость сварки и наплавки.

Автоматическая наплавка под слоем флюса

Сущность этого способа заключается в следующем:

Между наплавляемой деталью и электродной проволокой образуется электрическая дуга. В зону горения дуги из бункера с помощью специального устройства сыплется сухой зернистый флюс, покрывающий толстым слоем наплавляемый участок поверхности детали. Выделяющееся при горении дуги тепло плавит электродную проволоку, основной металл детали и часть флюса. Над ванной расплавленного металла образуется полость (пузырь), заполненная газами и парами, выделяющимся при горении дуги. Расплавленный флюс (жидкий шлак) образует эластичную оболочку, надежно защищающую всю зону горения дуги от влияния атмосферного воздуха. Эта оболочка при повышенном давлении во флюсовом пузыре не мешает газам, образующимся в процессе наплавки, выходить наружу.



Рисунок 8.20 – Сварка под флюсом

При выборе электродной проволоки для наплавки необходимо учитывать химический состав металла восстанавливаемой детали и условия ее работы. При этом необходимо исходить из условий: химический состав электродной проволоки должен быть ближе к химическому составу материала детали.

Восстановление деталей в среде углекислого газа

Используют для наплавки цилиндрических и плоских поверхностей деталей, сварки тонких листов. Наплавленный слой может иметь толщину 0,8-1,5 мм.

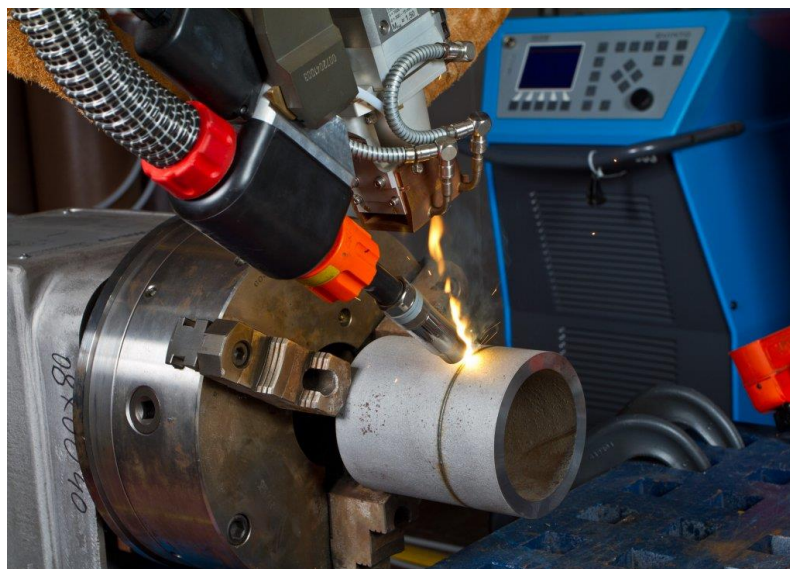


Рисунок 8.21 – Сварка в среде углекислого газа

На качество наплавленного шва значительное влияние оказывает вылет электрода, зависящий от удельного электрического сопротивления проволоки, ее диаметра и величины тока.

Плазменная наплавка

В зависимости от способа подачи и типа присадочного материала различают несколько разновидностей плазменной наплавки, напыления, металлизации (рисунок 8.22). Плазменная наплавка применяется для нанесения слоя металла толщиной 0,5-1,5 мм. Присадочный материал в виде проволоки, ленты, спрессованных металлокерамических колец и пластинок, пасты, а также порошка подается в плазменную дугу или выделенную плазменную струю. При плазменно-порошковой наплавке порошок вдувают через специальные каналы в горелке в дугу.

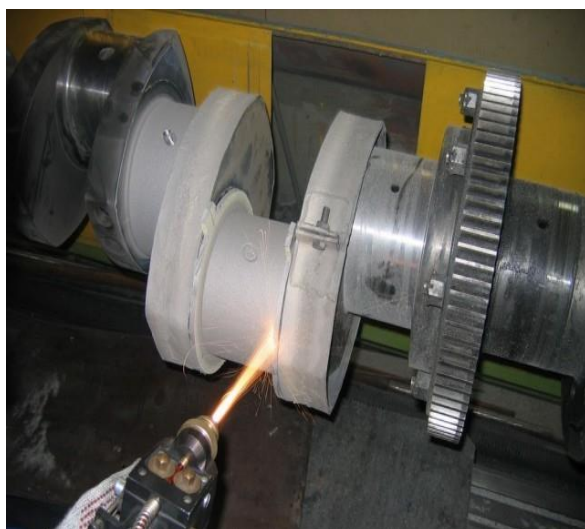


Рисунок 8.22 – Наплавка

Ремонт металлизацией

Состоит в расплавлении исходного материала, распылении его на мелкие частицы и переносе на поверхность детали струей воздуха, плазмы или пламенем горючих газов. Двигаясь в струе с большой скоростью (150-300 м/с и более), эти частицы попадают на заранее подготовленную шероховатую поверхность ремонтируемой детали, сцепляются с ней и одна с другой, образуя покрытие.

Расплавляемый металл обычно используют в виде проволоки, расплавление проводят электрической дугой – электродуговая металлизация (рисунок 8.23), в ацетилено-кислородном пламени (газовая металлизация), индукционным нагревом (высокочастотная металлизация), плазменной струей (плазменная металлизация).



Рисунок 8.23 – Схема распылительной головки металлизатора

Ремонт деталей электролитическим наращиванием

Основан на использовании процесса электролитической диссоциации, сущность которого состоит в том, что при пропускании электрического тока через раствор электролита (водный раствор солей и кислот) он диссоциирует, т. е, распадается на противоположно заряженные ионы, при этом ионы с положительным зарядом (катионы) в виде атомов металла и водорода направляются к катоду, а отрицательно заряженные (анионы) – к аноду. Достигнув катода, ионы металла отдают свой заряд и осаждаются на нем в виде нейтральных атомов. Если в качестве катода использовать ремонтируемую деталь, то атомы металла осаждаются на ней, создавая слой покрытия.



Рисунок 8.24 – Схема ванны для электролитического нанесения слоя металла

Восстановление крупных деталей можно производить методом струйного остоливания и хромирования. Для этого деталь помещают над ванной, а к месту восстановления подводят электрический ток и подают электролит.

Восстановление деталей с применением полимерных материалов и клея

Небольшая трудоемкость и себестоимость восстановления деталей (нанесение покрытий на изношенные или поврежденные поверхности, склеивания деталей, заделки трещин и др.) позволяют широко использовать в ремонтном производстве пластмассы на основе эпоксидных и полиамидных смол, а также клея.

Составы на основе эпоксидных смол ЭД-5, ЭД-6 применяют для заделки внутренних и наружных трещин в корпусных деталях, закрепления втулок и т.д.



Рисунок 8.25 – Нанесение покрытий

Перспективность использования полимерных материалов обуславливается простотой технологического процесса восстановления деталей и применяемого

оборудования, небольшой трудоемкостью, достаточно высокими свойствами синтетических материалов и их низкой стоимостью.

Полиамидные смолы (капрон, поликапролактан, смолы П-6, П-54) – термопластичные материалы, имеющие высокую износостойкость и прочность. Их применяют для изготовления зубчатых колес, втулок, нанесения износостойких покрытий.

Комплектация деталей

Для обеспечения ритмичной сборки машин и агрегатов при их ремонте каждое рабочее место должно быть укомплектовано всей номенклатурой деталей и сборочных единиц, которые устанавливают на машину или агрегат на данном рабочем месте. Комплекс работ по подбору деталей и сборочных единиц, обеспечивающих сборку изделий в соответствии с техническими требованиями, осуществляют в специальном комплектовочном отделении.

Детали поступают туда с трех направлений: годные без ремонта с допустимыми размерами из дефектовочного отделения, восстановленные до чертежного или ремонтного размера детали из цеха восстановления изношенных деталей и новые детали со склада запасных частей. Задача комплектации – подобрать из этих потоков всю номенклатуру деталей, обеспечивающую необходимую точность сборки и соответственно необходимый ресурс изделия.

В машиностроении применяют три метода комплектования деталей: метод полной взаимозаменяемости, метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки) и метод индивидуальной подгонки. Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что точность сборки (посадки) деталей обеспечивают при соединении любых взятых из партии деталей без подбора и подгонки. При этом методе необходимы суженные поля допусков на размеры деталей, высокая точность их обработки, что повышает трудоемкость и стоимость их обработки. Однако он обеспечивает наибольшую четкость и простоту организации производственного процесса сборки, поэтому в машиностроении, особенно в крупносерийном и массовом производстве, метод полной взаимозаменяемости применяют наиболее широко.

Метод групповой взаимозаменяемости основан на расширении поля допуска при изготовлении соединяемых деталей, а для обеспечения требуемого зазора или натяга при сборке детали сортируют и комплектуют по размерным группам.

Метод индивидуальной подгонки заключается в том, что каждую деталь при сборке подгоняют индивидуально под размер соединенной с ней деталью до достижения поля допуска зазора. Такой метод комплектования очень дорогой. Применяют его при сборке соединений очень высокой точности. Все эти методы используют и при комплектации деталей в процессе ремонта машин. Все новые детали из запасных частей, а также детали, восстановленные до чертежного размера и комплектуемые по методу полной

взаимозаменяемости при изготовлении машин, комплектуют также и при ремонте.

Сборка, обкатка и испытание объектов ремонта

Изделия в машиностроении имеют множество разнообразных соединений деталей. В машинах примерно 35...40 % соединений типа цилиндрический вал-втулка, 15...20 % плоскостных соединений, 15...25 % резьбовых, 6...7 % конических, 2...3 % сферических и т.д. Все эти соединения характеризуются различными конструктивными, технологическими и экономическими факторами: степенью относительной подвижности, возможностью разборки, технологичностью в сборке и демонтаже, видом контакта сопрягающихся поверхностей деталей, прочностью, химической стойкостью, затратами труда и средств на сборку и т.д. По конструкции и условиям эксплуатации соединения деталей можно разделять на подвижные и неподвижные. Детали подвижных соединений обладают возможностью относительного перемещения в рабочем состоянии по некоторым траекториям, определяемым кинематической схемой механизма, звеньями которого эти детали являются. Детали неподвижных соединений в рабочем состоянии перемещаться не могут.

Подвижные и неподвижные соединения, в зависимости от возможности их демонтажа, подразделяют на разъемные (свободно разбираемые) и неразъемные (неразбираемые). Число разъемных соединений в современных машинах и механизмах составляет в зависимости от их конструктивных особенностей от 65 до 85 % всех соединений. Под разъемными (демонтируемыми) соединениями подразумевают лишь те, которые могут быть полностью разобраны без повреждения соединяющих и скрепляющих их деталей. Особенности сборки соединений с подшипниками качения – наличие переходных посадок в сопряжениях, значительное влияние геометрических размеров и форм посадочных мест на деформацию подшипников и, как следствие, на их работоспособность.

При сборке опор с подшипниками скольжения основное внимание уделяют соблюдению сборочных зазоров, геометрических параметров сопрягаемых деталей, соосности опор подшипников, т.е. плотности их прилегания и правильности сборки.

Надежность зубчатых соединений зависит от кинематической точности, соответствующего контакта зубьев, плавности зацепления, шумности работы. Эти показатели обеспечиваются точностью геометрических параметров зубчатых колес, расстоянием между осями и их взаимным расположением, размером бокового зазора между зубьями.

Сборку шлицевых соединений отличает сложность обеспечения точного бокового или радиального зазора (натяга) и соосность сопрягаемых деталей. Погрешность взаимного расположения осей приводит к сокращению ресурса соединения. Поэтому при сборке важно обеспечить правильное центрирование охватываемых деталей.

Широкое применение в машинах нашли неподвижные разъемные соединения вследствие их простоты и надежности крепления, удобства регулирования усилия затяжки и возможности разборки и повторной сборки соединений без замены детали. К ним относятся резьбовые и прессовые соединения (шпоночные, клиновые, штифтовые, некоторые шлицевые соединения с натягом). Резьбовые соединения обеспечивают прочность и герметичность стыка, надежное стопорение резьбовых деталей. Этого достигают очередностью и равномерностью затяжки гаек, обеспечением требуемых усилий затяжки, правильным геометрическим положением рабочих поверхностей болтов (шпилек), применением стопорных устройств. Шпоночные соединения могут быть напряженными и ненапряженными. В зависимости от вида шпоночного соединения шпонку вставляют в паз вала с натягом или зазором. Изменение размера шпонки по высоте может вызвать нарушение расположения охватываемой детали.

В процессе сборки значительный объем работ приходится на сборку соединений с натягом, которую выполняют с помощью специальных оправок и направляющих на прессах. Запрессовке подлежат различные втулки, шкивы, шестерни, кольца подшипников. Рекомендуют при сборке прессовых соединений применять смазку, что позволяет на 10...20 % снизить усилие запрессовки.

Заклепочные соединения применяют в узлах, подверженных большим динамическим нагрузкам, или в случае сопряжения деталей, изготовленных из плохо свариваемых друг с другом материалов. Обкатка и испытание – завершающие операции в технологическом процессе ремонта машин, определяющие эффективность их работы при последующей эксплуатации.

Основные задачи, решаемые в процессе обкатки и испытания:

- подготовка сборочных единиц к восприятию эксплуатационных нагрузок;
- выявление возможных дефектов, связанных с качеством восстановления деталей и сборочных работ;
- проверка основных характеристик в соответствии с требованиями нормативной документации.

Цель обкатки – приработка трущихся поверхностей. Приработка – изменение геометрии поверхности трения и физико-механических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, проявляющееся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания.

В процессе приработки при взаимном первичном изнашивании улучшается качество поверхностей трения, достигаются требуемая шероховатость и износостойкость поверхностных слоев прирабатываемых материалов и, как следствие, улучшаются основные эксплуатационные параметры сборочных единиц.

Окраска машин

Лакокрасочные материалы представляют собой многокомпонентные составы, которые при нанесении их тонким слоем (30...100 мкм) на поверхность изделия образуют лакокрасочное покрытие, защищающее его от коррозии и придающее ему красивый внешний вид. Качество лакокрасочных покрытий определяется их механическими, химическими и адгезионными свойствами и самой технологией процесса окраски. К основным компонентам таких материалов относят пленкообразующие вещества, растворители и пигменты. Кроме того, в их состав могут входить пластификаторы, сиккативы, наполнители и разбавители.

Способ подготовки поверхности перед окраской выбирают в зависимости от сложности поверхности, размеров и материала изделий, условий эксплуатации, программы предприятия, степени и характера загрязнений, экономической целесообразности и других факторов. В ремонтном производстве наиболее часто предварительно поверхности деталей обезжиривают щелочными растворами, органическими растворителями и пароструйным способом.

Грунтование. Эту операцию следует проводить в возможно более короткий срок после подготовки поверхности к нанесению лакокрасочного покрытия. На подготовленную поверхность изделия наносят первый слой лакокрасочного покрытия – грунтовку, которая служит основой покрытия.

Она предназначена для создания прочного антикоррозионного слоя, имеющего высокую сцепляемость с металлом и последующими слоями лакокрасочного покрытия.

Шпатлевание. Эта операция предназначена для сглаживания шероховатостей и незначительных неровностей на окрашиваемой поверхности. Шпатлевка представляет собой густую пастообразную массу. Она состоит из пигментов и наполнителей, затертых на различных лаках.

Для получения декоративных покрытий выполняют многослойную окраску, уделяя особое внимание отделочным работам.

Наружные слои лакокрасочных покрытий часто наносят воздушным или безвоздушным распылением и в электростатическом поле. По принципу подачи краски распылители делят на две группы: с подачей краски от красконагнетательного бака и с ее подачей самотеком из прикрепленного сверху стакана. Вторую группу применяют при небольших объемах работ.

Все более широкое распространение находит безвоздушный способ распыления лакокрасочного материала под высоким давлением. Лакокрасочный материал из бачка подается насосом к краскораспылителю.

Раздел IX. Построение технологических процессов сборки

Проектирование технологических процессов сборки машин

Сборка является заключительным этапом изготовления или ремонта изделия (машины, оборудования, отдельных их механизмов или агрегатов), в значительной степени определяющим его технико-эксплуатационные характеристики.

Технологический процесс сборки заключается в соединении деталей в сборочные единицы (узлы), а сборочных единиц и отдельных деталей – в механизмы (агрегаты) и машины с обеспечением установленных технической документацией требований к точности, силовому взаимодействию деталей, гарантированных зазоров или натяга и т.д.

При составлении схемы сборочной единицы используют понятия «базовая деталь» и «базовая сборочная единица». С базовой детали начинается сборка сборочной единицы, а с базовой сборочной единицы – сборка изделия.

Для лучшего представления последовательности комплектования и сборки изделия его необходимо разделить на составные части: комплексы, сборочные единицы, детали.

Исходя из видов изделий, различают сборку узлов (узловая сборка), комплексов и изделия (общая сборка). Большая часть сборочных работ при изготовлении и ремонте машин и оборудования выполняется на общей сборке.

Процесс сборки ведется с соблюдением геометрических и кинематических связей между деталями, характеров посадок в их соединениях, заданных конструкторской документацией, и обеспечением требуемой точности сборки.

Под точностью сборки понимают степень соответствия действительных и проектных значений параметров относительного расположения сопрягаемых деталей или сборочных единиц. Она зависит от точности поступающих на сборку деталей и узлов, а также качества выполнения сборочных работ.

Учитывая, что трудоемкость сборочных работ может достигать 35 – 45 % общих трудозатрат, экономическую значимость имеет применение прогрессивных видов и форм организации сборки, совершенствование технологических процессов сборки, в частности, в направлении повышения уровня механизации за счет широкого применения универсальных и специальных приспособлений и оборудования.

Принципы организации и виды сборочного производства

Организация процесса сборки машины базируется на следующих основных принципах:

- обеспечение высокого качества собираемого изделия, гарантирующего необходимые его долговечность и надежность в эксплуатации;
- минимальный цикл сборки;
- применение средств механизации, обеспечивающих повышение производительности и безопасные условия выполнения сборочных работ и др.

Пути реализации этих принципов во многом зависят от конкретных видов сборки, применяемых на данном предприятии и его технического оснащения.

Основными видами сборки при изготовлении и ремонте машин и оборудования являются следующие.

Предварительная сборка, при которой собранные узлы или изделие в целом подлежат разборке, например, для определения размера неподвижного компенсатора.

Промежуточная сборка, выполняемая для решения определенных технологических задач, в частности, для подготовки сборной детали к механической обработке. Например, предварительная сборка корпуса редуктора с крышкой необходима для последующей совместной обработки в них отверстий под подшипники и т.п.

Сборка под сварку, обеспечивающая с помощью специального приспособления относительное положение заготовок перед сваркой, необходимое для обеспечения требуемой точности изделия. Этот вид сборки является основным при изготовлении металлоконструкций.

Окончательная сборка, как заключительная стадия получения данного изделия в процессе его изготовления или ремонта без последующей его разборки. В отдельных случаях после окончательной сборки изделия выполняется его частичная разборка (демонтаж) с целью подготовки отдельных частей к упаковке для доставки потребителю. Окончательная сборка (монтаж) и установка изделия в этом случае выполняется на месте использования.

По подвижности собираемого изделия сборка подразделяется на стационарную и подвижную, а по организации производства – на непоточную, групповую и поточную.

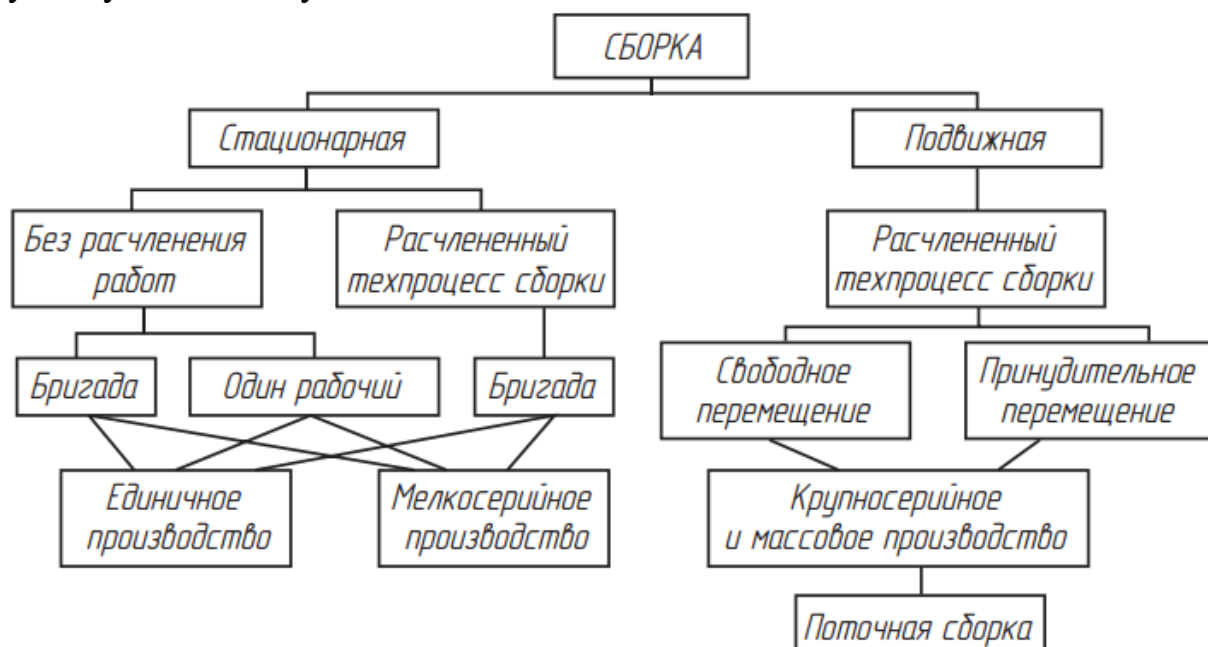


Рисунок 9.1 – Классификация сборки

Непоточная стационарная сборка

Непоточная стационарная сборка характеризуется тем, что весь процесс сборки изделия и его сборочных единиц выполняется на одной сборочной позиции: на сборочной площадке цеха, стенде и т.п. Базовые детали изделия должны быть установлены в таком же положении, что и на месте его эксплуатации. Это способствует достижению высокой точности сборки, особенно крупных изделий с недостаточно высокой жесткостью конструкции. Все детали, узлы и комплектующие изделия при данной форме сборки поступают на эту позицию, а все сборочные работы выполняются одной бригадой слесарей-сборщиков последовательно. В этой связи недостатками данного метода являются: ограниченные возможности сокращения длительности общего цикла сборки из-за последовательного выполнения сборочных операций, а также необходимость в высококвалифицированных рабочих, способных выполнять весь комплекс сборочных операций.



Рисунок 9.2 – Пример непоточной сборки

Непоточная стационарная сборка с расчленением сборочных работ предполагает выделение узловой и общей сборки. Благодаря этому сборка различных узлов машины может выполняться одновременно (параллельно), что позволяет существенно сократить длительность ремонта по сравнению с непоточной стационарной сборкой. Данная форма организации сборки особенно эффективна при наличии оборудованных соответствующими техническими средствами специализированных участков или рабочих мест по изготовлению (ремонту) составных частей машины – электрооборудования, гидрооборудования и т.д., так как обеспечивает лучшую организацию труда, повышение качества и снижение стоимости сборки благодаря специализации рабочих.

Применение узловой сборки предусматривает расчленение конструкции изделия на технологические сборочные единицы, которые могут быть собраны независимо друг от друга. Это условие должно быть обеспечено при проектировании или модернизации изделия, при отработке его на технологичность.

Непоточная подвижная сборка характеризуется последовательным перемещением собираемого изделия от одной позиции к другой с распределением между ними операций технологического процесса сборки. Перемещение собираемого изделия может быть свободным или принудительным при помощи конвейера или аналогичных устройств. Сборка может выполняться как на конвейере, так и возле него. Продолжительность выполнения работ на каждой позиции может быть различная, что обуславливает необходимость создания межоперационных заделов. Поэтому непоточная подвижная сборка экономически эффективна в условиях серийного производства.

Поточная сборка и ее характеристика

Поточная сборка отличается тем, что все операции процесса выполняются синхронно за одинаковый промежуток времени – такт, или кратный ему. Во втором случае операция выполняется параллельно на нескольких рабочих местах. Межоперационное перемещение собираемого изделия при этом может осуществляться вручную или с помощью конвейера, имеющего непрерывное или периодическое перемещение. Поточная сборка сокращает длительность производственного цикла и уменьшает межоперационные заделы деталей, позволяет за счет механизации сборочных операций и специализации рабочих снизить на 35—50 % трудоемкость сборки.



Рисунок 9.3 – Пример поточной сборки

Она рентабельна при достаточно большом количестве собираемых изделий. Конструкция собираемого изделия должна быть высоко технологичной для исключения, по возможности, пригоночных работ. При их необходимости они должны выполняться за пределами потока.

Поточная стационарная сборка является одной из форм поточной сборки и применяется при сборке тяжелых, громоздких и неудобных для транспортирования изделий. Она отличается тем, что все изделия собираются на постоянных местах без перемещения, а рабочие переходят от одного изделия к другому через периоды времени, равные такту, и выполняют закрепленные за ними операции.

Виды сборочных работ

Процесс сборки состоит из двух основных частей: подготовки деталей к сборке и собственно сборочных операций. К подготовительным работам относятся: выполняемые при необходимости слесарно-пригоночные работы (опиливание, шабрение и др.) с контролем точности универсальными или специальными мерительными средствами, а также подгонка деталей по месту для получения необходимой точности сборки; очистка и промывка деталей; смазывание сопрягаемых деталей, если это необходимо по техническим условиям.

Перед сборкой некоторые детали подвергают балансировке (статической или динамической), комплектуют по размерным группам и по массе (например, поршни двигателей внутреннего сгорания).

К собственно сборочным работам относится процесс соединения сопрягаемых деталей и узлов с обеспечением правильного их взаимного положения и определенной посадки.

Сборочные работы, следовательно, делятся на основные и вспомогательные. При выполнении основных сборочных работ создаются требуемые подвижные или неподвижные соединения. Получение любого соединения включает относительную ориентацию собираемых деталей и сообщение им требуемого относительного перемещения с применением сборочных приспособлений и технологического оборудования. Целью вспомогательных работ является подготовка деталей к выполнению основных сборочных работ, подбор необходимых инструментов для проведения сборки, контроль ее качества, консервация и упаковка собранного изделия и др.

Таким образом, технологический процесс сборки включает разнообразные работы, которые можно отнести к следующим видам:

- подготовительные работы – приведение деталей и сборочных единиц в состояние, требуемое условиями сборки: расконсервация, очистка, мойка, сортировка на размерные группы, комплектование, укладка в тару, транспортирование и др.;
- пригоночные работы по обеспечению возможности сборки соединений: правка, сверление и развертывание отверстий в сборе, калибрование гладких и резьбовых отверстий, зачистка, опиливание, шабрение, притирка поверхностей деталей и т.д.;
- собственно сборочные работы – получение в соответствии с чертежом разборных или неразборных соединений деталей, сборочных единиц и изделий свинчиванием, запрессовыванием, клепкой, паянием и др. методами;
- регулировочные работы для обеспечения требуемой точности взаимного расположения и относительного перемещения деталей в сборочных единицах;
- контрольные работы, выполняемые в процессе сборки и после ее окончания с целью проверки соответствия сборочных единиц и изделий требованиям, установленным технической документацией;

– демонтажные работы – частичная разборка собранного изделия для обеспечения возможности доставки его потребителю.

Методы обеспечения точности сборки

При сборке машин возможны погрешности во взаимном расположении деталей и узлов, несоблюдение в сопряжениях требуемых зазоров или натягов.

Причинами этих погрешностей могут быть: отклонения размеров, формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей при изготовлении; неточная установка и фиксация относительного положения деталей при сборке; низкое качество пригонки и регулирования положения сопрягаемых деталей; несоблюдение режима сборочной операции, например, при затяжке винтовых соединений; погрешности изготовления и настройки сборочного оборудования и технологической оснастки и др.

Заданную точность сборки можно получить различными методами: полной взаимозаменяемостью; неполной (частичной) взаимозаменяемостью; групповой взаимозаменяемостью (селективной сборкой); регулировкой; пригонкой или изготовлением детали по месту и применением компенсирующих материалов. Выбор конкретного метода зависит от количества изготавливаемых или ремонтируемых однотипных машин, принятой системы организации производства и его технической оснащенности, квалификации рабочих, а также конструктивных особенностей узлов и машины в целом.

Рассмотрим указанные методы обеспечения точности сборки.

Метод полной взаимозаменяемости характеризуется пригодностью для сборки любой детали, узла или агрегата данной партии без дополнительной обработки и пригонки. Сборка с применением метода полной взаимозаменяемости наиболее проста и наименее трудоемка, так как требуемый зазор или натяг в соединении обеспечивается с заданной точностью без дополнительных затрат времени. Однако при полной взаимозаменяемости требуется более высокая точность изготовления деталей, что связано с удорожанием стоимости изготовления, необходимостью применения большого числа точных приспособлений, инструментов и контрольно-измерительных средств.

Применение метода полной взаимозаменяемости целесообразно при сборке простых соединений из небольшого количества деталей, например типа вал-втулка, так как с увеличением числа деталей ужесточаются требования к точности их обработки, что не всегда технически достижимо или экономически целесообразно.

Метод неполной взаимозаменяемости состоит в том, что допуски на размеры деталей, составляющих размерную цепь, преднамеренно расширяют для снижения их себестоимости. Поэтому требуемая точность сборки достигается не у всех соединений деталей, а у заранее установленной их части. Для оставшейся части соединений необходимы разборка и повторная сборка.

Применение метода неполной взаимозаменяемости целесообразно, если дополнительные затраты на выполнение разборочно-сборочных работ меньше

затрат на изготовление сопрягаемых деталей при методе полной взаимозаменяемости.

Метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки или подбора) характеризуется тем, что требуемые зазоры или натяги в соединениях получают путем сборки деталей, относящихся к одной из размерных групп, на которые они предварительно рассортированы. При этом в пределах каждой группы требуемая точность сборки достигается методом полной взаимозаменяемости. Это обеспечивает высокую точность сборки без повышения точности изготовления деталей.

Существенным преимуществом данного метода является то, что без снижения по сравнению с методом полной взаимозаменяемости точности сборки можно расширить допуски на все детали во столько раз, на сколько групп разбиты детали, и за счет этого снизить точность их обработки. Благодаря разделению деталей на размерные группы точность сборки методом групповой взаимозаменяемости может быть даже существенно выше, чем при методе полной взаимозаменяемости. Поэтому этот метод широко применяется при производстве высокоточных изделий (подшипников, плунжерных пар и др.). Однако данный метод связан с дополнительной операцией сортировки деталей на размерные группы, необходимостью создания и хранения больших запасов деталей, что увеличивает объем незавершенного производства, материальные и трудовые затраты. Поэтому метод групповой взаимозаменяемости экономически эффективен в условиях крупносерийного и массового производства.

При методе регулировки необходимая точность сборки достигается путем изменения величины или положения компенсирующего звена.

Метод пригонки используется при сборке изделий с большим числом звеньев, при этом все детали за исключением компенсатора могут быть изготовлены с экономичными допусками, однако требуются дополнительные затраты на пригонку компенсатора. Экономичность метода в значительной мере зависит от правильного выбора компенсирующего звена, которое не должно принадлежать нескольким связанным размерным цепям.

Этапы проектирования процесса сборки

Проектирование технологического процесса сборки является важнейшим этапом технологической подготовки сборочного производства, которая кроме разработки типовой технологической документации включает также проектирование и изготовление нестандартного оборудования, специальной оснастки, выполнение планировок и других работ. Исходными данными для разработки технологического процесса сборки являются: сборочные чертежи собираемого изделия; спецификации; технические требования, предъявляемые к отдельным узлам и к изделию в целом; программа выпуска и т.д. Поэтому разработке технологического процесса сборки предшествует детальное ознакомление с конструкцией изделия, взаимодействием его частей,

техническими условиями на изготовление, приемку и испытания изделия, имеющейся технической базой сборочного производства.

Процесс сборки, как часть производственного процесса, состоит из совокупности операций, обеспечивающих последовательное соединение, взаимную ориентацию, пригонку и фиксацию деталей и узлов для получения готового изделия, удовлетворяющего установленным требованиям. К нему относятся также операции, связанные с проверкой и обеспечением точности взаимного расположения собираемых деталей и узлов, правильного функционирования отдельных механизмов, систем и машины в целом, а также операции по очистке, окраске и консервации изделия или отдельных его частей.

Технологический процесс сборки проектируется с учетом технических и организационных достижений производства в области технологии сборки, обеспечения ресурсосбережения, механизации и автоматизации работ, создания благоприятных условий труда и т.д. с учетом конкретных условий и типа сборочного производства. Разработанный технологический процесс сборки, как документ, включает: описание состава и последовательности операций и переходов сборки изделия; технико-экономические расчеты трудовых, материальных и энергетических затрат, количества необходимого оборудования и оснастки, численности производственных рабочих, производственной площади, трудоемкости и себестоимости сборки изделия.

Проектирование технологического процесса сборки включает следующие основные этапы:

- анализ технологичности конструкции изделия с позиции выполнения сборки и регулировки;
 - размерный анализ конструкции собираемого изделия с выполнением соответствующих расчетов, выбор рационального метода обеспечения требуемой точности сборки, определение вероятного объема пригоночных и регулировочных работ;
 - обоснование степени дифференциации и формы организации процесса сборки;
 - разделение изделия на сборочные единицы (группы и подгруппы), задание последовательности соединения всех сборочных единиц и деталей изделия, составление схемы общей сборки и узловых сборок изделия, карт сборки;
 - определение содержания технологических операций сборки, выбор методов контроля и испытаний изделия и техническое нормирование сборочных работ;
 - обоснование принятого варианта технологического процесса сборки;
 - оформление технологической документации;
 - выбор и определение количества стандартного оборудования;
- проектирование недостающего для организации сборки технологического оборудования, приспособлений, слесарных, режущих и контрольно-измерительных инструментов; проектирование, при необходимости, участка сборки.

Проектирование сборочных операций. Сборочные операции проектируют на основе технологических схем сборки. При разработке содержания сборочных операций следует учитывать, что при поточном методе сборки трудоемкость операции должна быть равна (несколько меньше) такту сборки или кратна ему. Для каждой сборочной операции уточняют содержание технологических переходов, определяют схему базирования и закрепления базового элемента (детали, узла), выбирают технологическое оборудование, приспособления, рабочий и измерительный инструмент, устанавливают режимы работы, норму времени и разряд работы. При этом выполняют необходимые технологические расчеты, подтверждающие обоснованность выбора оборудования, технологической оснастки и режимов работы. К ним относятся: определение усилия запрессовки при сборке соединений с натягом или при клепке, температуры нагрева или охлаждения при сборке деталей с тепловым воздействием и др.

Нормирование сборочных работ ведется по нормам времени, которые устанавливают опытно-статическим методом и методом пробных сборок, применяя хронометраж отдельных операций.

Оценка эффективности разработанных вариантов технологического процесса сборки производится на основе абсолютных и относительных показателей. К абсолютным показателям относятся себестоимость отдельных операций и процесса сборки в целом, трудоемкость сборки узлов и всего изделия. Относительные показатели – коэффициент загрузки каждого сборочного места, коэффициент трудоемкости сборочного процесса (отношение трудоемкости сборки к трудоемкости изготовления деталей, входящих в собираемое изделие). Коэффициент для единичного и мелкосерийного производства составляет примерно 0,5, для серийного 0,3 – 0,4. Чем меньше этот коэффициент, тем выше уровень механизации сборочных работ. При большом удельном весе в составе собираемого изделия покупных деталей и узлов целесообразно вместо коэффициента трудоемкости использовать коэффициент себестоимости сборочного процесса, который равен отношению себестоимости сборки к себестоимости изготовления.

Технологическая документация сборочных процессов включает сборочные чертежи, технологические схемы узловой и общей сборки, маршрутную и операционные карты сборки. В сборочной маршрутной карте приводится перечень сборочных операций с указанием данных об оборудовании и оснастке, норм времени, разряда работы и расчетных норм времени по технологическим переходам.

Для реализации разработанного процесса сборки проектируют необходимое технологическое оборудование и оснастку: испытательные стенды, приспособления, специальные слесарные инструменты и измерительные средства и т.д. Заключительным этапом проектирования сборочного процесса является разработка планировки участка сборки. Основными путями повышения технико-экономической эффективности процессов сборки являются механизация и автоматизация сборочных операций

на основе современных средств технологического оснащения и рациональная организация производства.

Контроль качества сборки

В технологических процессах общей и узловой сборки важное место занимает технический контроль качества выполнения работ. Качество конечной продукции обеспечивается входным контролем комплектующих изделий, деталей собственного производства и полуфабрикатов, проверкой точности сборочного оборудования и оснастки, а также систематической проверкой хода технологического процесса сборки для предупреждения и своевременного выявления брака продукции. В маршрутной технологии указывают операции контроля и элементы контроля, включаемые в сборочные операции.

При узловой и общей сборке проверяют:

- правильность положения сопрягаемых деталей и узлов;
- зазоры в соединениях;
- точность взаимного расположения деталей и узлов (параллельность, перпендикулярность и соосность);
- точность вращательных движений (радиальное и осевое биение) и поступательных перемещений (прямолинейность) подвижных деталей, особенно исполнительных органов машин и механизмов;
- плотность прилегания сопрягаемых поверхностей, герметичность неподвижных и подвижных соединений деталей;
- затяжку резьбовых соединений, плотность и качество постановки заклепок, плотность вальцовочных и других неразъемных соединений;
- размеры, заданные в сборочных чертежах;
- выполнение специальных требований (уравновешенности вращающихся деталей, подгонки деталей по массе и др.);
- эксплуатационные характеристики и параметры собранных изделий и их составных частей (производительность, развиваемое давление, точность работы тяговых и делительных устройств и др.);
- внешний вид собранных изделий (отсутствие деформаций и повреждений деталей, которые могут возникнуть в процессе сборки).

Большинство указанных контрольных операций выполняют сборщики и наладчики оборудования для сборки и собираемого оборудования. В функцию контроля со стороны технологической и контрольной служб входит проверка установленной технологическим процессом последовательности и правильности выполнения основных и вспомогательных сборочных операций, соблюдения правил пользования сборочными приспособлениями и оборудованием.



Рисунок 9.4 – Контроль качества сборки

Средства контроля выбирают с учетом их метрологических характеристик (пределов и точности измерения) исходя из требуемой точности измерений. Допустимая погрешность контроля обычно не должна превышать 20 % допуска на контролируемую величину. Учитываются также конструктивные особенности контролируемых объектов (конфигурация, габаритные размеры, масса), экономические факторы, необходимость обеспечения безопасных условий труда.



Рисунок 9.5 – Контроль качества сварного шва

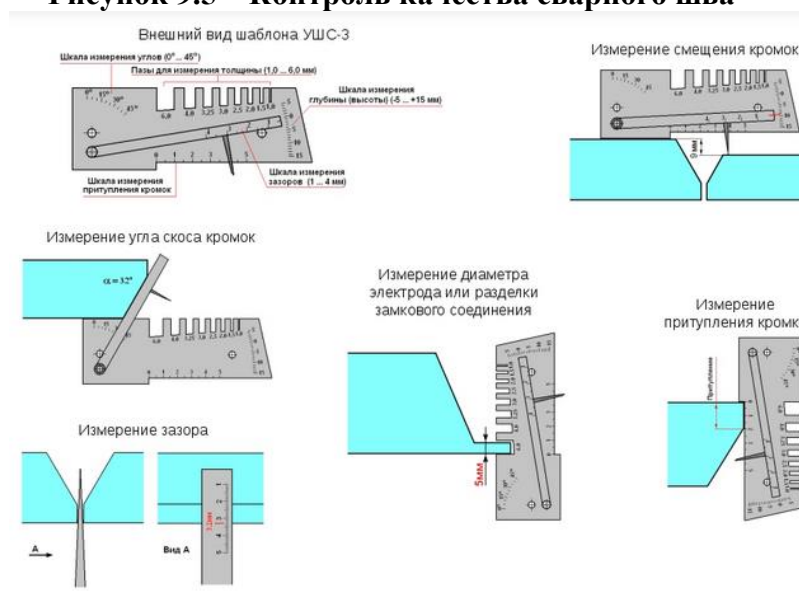


Рисунок 9.6 – Измерительный контроль сборки и сварки



Рисунок 9.7 – Проведение контроля сборки

На контрольные операции составляют инструкционные карты, в которых подробно отражают последовательность контроля и используемые технические средства.