

**Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия**

С.В. Ковалевский, С.Г. Онищук, Ю.Б. Борисенко

**Теоретические основы технологии
производства деталей и сборки машин**

Утверждено
на заседании кафедры
Технологии и управления
производством
протокол № 2 от 06.09.11

Краматорск 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1.ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. КАЧЕСТВО И ТОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И СБОРКЕ МАШИН	6
1.1.Основные термины и положения. Техническая подготовка производства.	6
1.2.Типы машиностроительных производств и их краткая характеристика.	12
1.3.Построение системы связей при изготовлении и сборке машин. Качество и точность. Геометрические показатели точности. Физико-механические свойства поверхностного слоя.	13
1.4.Формы организации ТП. Принципы концентрации и дифференциации операций. Методы обеспечения точности. Основные факторы, влияющие на точность обработки. Этапы обеспечения точности обработки.	18
1.5.Диаграмма причинно-следственных взаимосвязей	22
1.6.Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин.	24
2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ	29
2.1.Элементы базирования: опорная точка, комплект баз, закрепление, установка. Правило «шести точек».	29
2.2.Типовые схемы базирования деталей при обработке.	34
2.3.Классификация баз.	35
2.4.Правила (принципы) базирования: единства. Определенность и неопределенность базирования.	40
2.5.Анализ типовых схем базирования.	41
2.6.Погрешности от закрепления и положения деталей. Пути снижения влияния погрешностей установок на точность обработки	46

3.РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ.	49
3.1.Погрешности от упругих деформаций системы Жесткость технологической системы и производственные методы ее оценки.	49
3.2.Погрешности от размерного износа инструмента.	56
3.3.Погрешности от тепловых деформаций системы.	60
3.4.Влияние геометрической точности станка на точность обработки	63
3.5.Погрешности от влияния вибраций и других факторов.	66
3.6.Расчет суммарной погрешности обработки.	67
3.7.Методы настройки станков. Диаграммы точности обработки.	69
4.СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА СБОРКИ	77
4.1.Точечные и точностные диаграммы. Сущность, порядок построения и условия применения.	78
4.2.Закон Гаусса. Основные статистические характеристики. Практическая кривая и гистограмма. Сущность, порядок построения и условия применения.	79
4.3.Порядок построения теоретической кривой. Свойства нормального закона распределения: Порядок определения % брака; систематической погрешности (настройки) и коэффициента точности.	81
4.4.Свойства нормального закона распределения.	85
5.ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	87
5.1.Информация, необходимая для проектирования ТП.	87
5.2.Последовательность проектирования единичного ТП механической обработки.	88
5.3.Отработка конструкции на технологичность.	88
5.4.Порядок определения типа производства.	93
5.5.Выбор методов получения исходных заготовок.	98
5.6.Выбор технологических баз для установки заготовок.	109

5.7.Составление планов обработки отдельных поверхностей.	110
5.8.Рекомендации к построению общего маршрута обработки.	112
5.9.Технический контроль.	115
6.ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ	117
6.1.Виды структур технологических операций	117
6.2.Определение припусков и межоперационных размеров.	118
6.2.Расчеты режимов резания.	124
6.3.Штучное время и его элементы. Элементы технического нормирования операций.	129
6.4.Оформление технологической документации.	135
7.РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.	139
7.1.Задачи и необходимость размерного анализа.	139
7.2.Виды размерных цепей.	144
7.3.Порядок построения размерной схемы ТП.	145
7.4.Выявление ТРЦ при помощи графов.	149
7.5.Проверка правильности построения графов и запись уравнений ТРЦ.	151
7.6.Расчеты технологических размерных цепей	153
8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ	157
8.1.Сверление. Зенкерование. Развертывание.	157
8.2.Строгание и долбление.	161
8.3.Методы шлифования.	166
8.4.Отделочные методы: суперфиниширование, полирование, притирка.	173
8.5.Методы ППД.	180
8.6.Операции нанесения покрытий.	187
9. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	190
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	192

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Основы технологии машиностроения» как учебная дисциплина изучает основные закономерности протекающие при выполнении различных технологических процессов, а так же элементы теории базирования, статистического и размерного анализа.

Основная цель дисциплины – подготовка и систематизация знаний для освоения дисциплины специальности «Технологии машиностроения».

Технология машиностроения – это наука об изготовлении и сборке машин требуемого количества, заданного качества в установленные сроки при наименьших затратах живого и общественного труда, т.е. при наименьшей себестоимости.

Основные задачи изучения дисциплины.

1.Выявление и анализ закономерностей, протекающих при изготовлении различных деталей; овладение методикой расчета первичных погрешностей.

2.Установление взаимосвязей между факторами, которые влияют на точность, шероховатость и свойства поверхностей обрабатываемых деталей.

3.Изучение методологии проектирования технологических процессов и операций и выбор рациональных схем их построения.

4.Повышение технического уровня действующего производства технологическими методами.

По И.М.Колесову любое изделие или машину следует рассматривать как систему пяти различных связей: свойств материалов, размерных свойств, информационных, временных и экономических.

Наибольшее внимание будет уделено *размерным свойствам*, так как они являются наиболее значимыми.

В настоящее время спад производства по машиностроению составляет более 50%. Ряд подотраслей остановлены из-за изменения форм собственности. В то же время известно, что благосостояние и *жизненный уровень* любого государства определяет именно развитие машиностроения.

1.ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. КАЧЕСТВО И ТОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И СБОРКЕ МАШИН.

1.1.Основные термины и положения. Техническая подготовка производства.

Объектом изучения дисциплины является технологический процесс (ТП) механической обработки или сборки.

Машина – это механизм или их сочетание, выполняющие целесообразное движение для преобразования энергии или выполнение работы.

Они подразделяются на:

Машины-двигатели, с помощью которых один вид энергии преобразуется в другой, удобный для использования

Машины-орудия (рабочие машины), с помощью которых производится изменение формы, свойств и положения объекта труда.

Машины и их составляющие в процессе производства на машиностроительном предприятии являются *изделиями*.

Изделие – это предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на данном предприятии. В зависимости от назначения их делят на изделия *основного* и *вспомогательного* производства.

Изделия основного производства, предназначены для поставки (реализации) потребителям.*Изделия вспомогательного производства* используются только для собственных нужд данного предприятия.

Изделием может быть: *машина*, *узел* или *деталь*.

Деталь- это изделие или его часть, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (например, валик из одного куска металла, литой корпус и т. П.).

Рабочее место – это участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой на нем работой.

Технологическая операция- это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими над одной или несколькими деталями.

В условиях автоматизированного производства под операцией понимается законченная часть ТП, выполняемая непрерывно на автоматической линии, которая состоит из нескольких станков, связанных автоматически действующими транспортно-загрузочными устройствами.

В условиях гибкого автоматизированного производства непрерывность выполнения операции может нарушаться направлением обрабатываемых заготовок на промежуточный склад в периоды между отдельными позициями, выполняемыми на разных технологических модулях.

Рабочий ход — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки. Понятие рабочего хода соответствует применявшемуся ранее в технологической практике понятию перехода.

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

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

Технологический процесс- это часть производственного процесса, заключающийся в последовательном изменении форм, размеров, внешнего вида и внутренних свойств предмета производства, а так же контроль.

Производственный процесс представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

В состав производственного процесса включаются все действия по изготовлению и сборке продукции, контролю ее качества, хранению и перемещению на всех стадиях изготовления, организации снабжения и обслуживания рабочих мест и участков, управления всеми звеньями производства, а также все работы по технической подготовке производства.

Детали, участвующие в производственном процессе имеют *сопрягаемые и несопрягаемые* поверхности.

Первые при сборке соприкасаются с поверхностями других деталей, образуя *сопряжения*. Одни из них служат для присоединения данной детали к другим деталям и называются *основными базами*.

Другие поверхности служат для присоединения к данной детали других деталей сборочного соединения и носят название *вспомогательных баз*. *Сопрягаемые поверхности*, выполняющие рабочие функции (поверхность шкива, соприкасающаяся с приводным ремнем) называются *функциональными* (исполнительными или рабочими).

Остальные поверхности детали являются *несопрягаемыми* (“свободными”) и служат для оформления требуемой конфигурации детали. Они не обрабатываются или обрабатываются с пониженной точностью для уравнивания и балансировки быстро вращающихся деталей.

Базовые детали — это детали с базовыми поверхностями, выполняющие в сборочном соединении (в узле) роль соединительного звена, обеспечивающего при сборке соответствующее относительное положение других деталей.

Сборочная единица (узел)- это часть изделия, которая *собирается отдельно* и в дальнейшем участвует в процессе сборки как одно целое.

Объектами производства машиностроительных предприятий могут быть также *комплексы* и *комплекты изделий*, кроме отдельных машин и их частей.

Комплекс – это два и более специфицированных (состоящих из двух и более составных частей) изделия, не соединенных на предприятии-

изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций; например: автоматическая линия, цех-автомат, станок с ЧПУ с управляющими панелями

Комплект – это два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера; например: комплекты запасных частей, инструмента и принадлежностей, измерительной аппаратуры, упаковочной тары.

Комплектуемое изделие – это изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем. Составными частями изделия могут быть детали и сборочные единицы.

Для построения эффективного технологического процесса сборки необходимо расчленить изделие на ряд сборочных единиц и деталей. Такое расчленение производится на стадиях конструкторской подготовки производства при разработке конструкции изделия.

Различают *конструктивные сборочные единицы* и *технологические сборочные единицы* или узлы.

Конструктивная сборочная единица — это узел, спроектированный лишь по функциональному принципу без учета условий независимой и самостоятельной сборки.

Технологическая сборочная единица— это узел, который может собираться отдельно от других составных частей изделия и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения *только совместно с другими составными частями*.

Конструктивно-технологическая сборочная единица – наилучший вариант конструкции, отвечает условию функционального назначения в изделии и условию самостоятельной независимой сборки.

Принцип конструирования изделий из таких единиц называется *агрегатным* или *блочным*. Из конструктивно-технологических сборочных единиц формируются агрегаты.

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

Сборка изделия или его составной части из агрегатов называется *агрегатной* или *модульной*. Изделие, спроектированное по этому принципу имеет лучшие технико-экономические показатели.

Каждая *сборочная единица* включает определенные виды соединений деталей.

По возможности относительного перемещения составных частей соединения подразделяются на *подвижные* и *неподвижные*

По сохранению целостности при сборке соединения подразделяются на *разъемные* и *неразъемные*.

При этом соединения могут быть: *неподвижными разъемными* (резьбовые, плоскостные, конические), *неподвижными неразъемными* (соединения запрессовкой, развальцовкой, клепкой), *подвижными разъемными* (подшипники скольжения, плунжеры-втулки, зубья зубчатых колес, каретки-станины); *подвижными неразъемными* (подшипники качения).

Количество разъемных соединений в современных машинах и механизмах составляет 65—85 % от всех соединений.

По форме сопрягаемых поверхностей соединения подразделяются на: *цилиндрические* (до 35—40 % всех соединений), *плоские* (15—20 %), *резьбовые* (15—25 %), *конические* (6—7 %), *сферические* (2—3 %), и *профильные* (менее 1%).

Техническая подготовка производства

Рациональная организация производства невозможна без проведения тщательной технической подготовки. В связи с этим выполняют:

1.Конструкторскую подготовку производства (разработку конструкции изделия и создание чертежей общей сборки изделия, сборочных элементов и отдельных деталей изделий, запускаемых в производство с оформлением соответствующих спецификаций и других видов конструкторской документации).

2.Технологическую подготовку производства, т.е. совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятий (или предприятия) к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах.

К технологической подготовке производства относятся обеспечение технологичности конструкции изделия, разработка технологических процессов, проектирование и изготовления средств технологического оснащения, управление процессом технологической подготовки производства.

3.Календарное планирование производственного процесса изготовления изделия в установленные сроки, в необходимых объемах выпуска и затратах.

Трудоемкость *технологического проектирования* составляет **30—40 %** от общей трудоемкости технической подготовки в мелкосерийном производстве, **40—50 %** при серийном и **50—60 %** при массовом производстве.

Трудоемкость технологического проектирования в большинстве случаев значительно превосходит трудоемкость конструирования машин.

1.2. Типы машиностроительных производств и их краткая характеристика

В зависимости от производственной программы, характера продукции технических и экономических условий различают: *единичное, серийное и массовое* производство.

На одном предприятии бывают разные типы производства.

Единичное производство- когда изделие изготавливают единичными экземплярами, разнообразными по конструкции, конфигурации, размерам; повторяемость может отсутствовать.

Для единичного производства оборудование универсальное, т. Е. должно удовлетворять условиям гибкости.

Инструмент режущий и мерительный тоже универсальный, приспособление тоже переналаживаемое, квалификация рабочих высокая.

Виды заготовок для обработки – преобладают не точные заготовки.

Годовая программа выпуска для средних деталей- 10 шт.

Серийное производство- когда изделия (детали) изготавливаются партиями: различают: *среднесерийное, крупносерийное и мелкосерийное* производство.

В современном машиностроении 75-80% деталей изготавливают в условиях серийного производства.

Массовое производство – когда изделие изготавливают в больших количествах, обработка деталей ведется на одних и тех же рабочих местах, для деталей средних размеров годовая программа свыше 5000.

Оборудование специализированное, режущий, мерительный инструмент тоже специальные.

Квалификация рабочих допускается не очень высокая.

Заготовки – в основном точные.

Критерием установления типа производства является коэффициент закрепления операций.

Коэффициент закрепления операций – отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

Коэффициент закрепления операций составляет: для мелкосерийного производства — свыше 20 до 40 включительно; для среднесерийного — свыше 10 до 20 включительно; для крупносерийного — свыше 1 до 10 включительно.

Производственная партия — это группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени.

Объем серии – это общее количество изделий определенных наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых по неизменяемой конструкторской документации.

1.3. Построение системы связей при изготовлении и сборке машин.

Качество и точность.

Качество машин по ГОСТ15467-79 характеризуют тремя группами показателей.

1. *Технический уровень* – определяющий степень ее совершенства: к.п.д., производительность, экономичность и др.

2. *Производственно-технические показатели* (технологичность и минимальные затраты на изготовление, эксплуатацию и ремонт).

3. *Эксплуатационные показатели:*

- а) надежность,
- б) эргономическая характеристика и степень учета комплекса экологических параметров,
- в) эстетическая характеристика.

При оценке качества следует учитывать и *патентную чистоту* объекта (т.е. техническую новизну).

Точность большинства изделий машиностроения является важнейшей характеристикой их качества. Современные мощные и высокоскоростные машины не могут функционировать при недостаточной точности их изготовления из-за возникновения дополнительных динамических нагрузок и вибраций, нарушающих нормальную работу машин и вызывающих их разрушение.

Повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивает значения показателей безотказности и долговечности механизмов и машин. Например, при повышении точности деталей шарикоподшипника и уменьшении зазоров в нем от 20 до 10 мкм срок его службы увеличивается с 740 до 1200 ч.

Технолог должен обеспечить:

- требуемую конструктором *точность изготовления* деталей и сборки машины при одновременном достижении высокой *производительности и экономичности их изготовления*;
- необходимые средства измерения и контроля точности обработки и сборки;
- выбор технологических допусков на межоперационные размеры и размеры исходных заготовок и их выполнение в ходе технологического процесса.

Кроме того, технолог должен исследовать фактическую точность технологических процессов и проанализировать возможные причины возникновения погрешностей обработки и сборки.

Под точностью детали понимается степень приближения параметров детали к *идеальным*.

При проектировании деталей машин их геометрические параметры задаются размерами элементов, а также формой и расположением их поверхностей.

При изготовлении возникают отступления геометрических параметров реальных деталей от идеальных (запроектированных) значений. Их называют погрешностями. Допускаемые значения погрешностей ограничивают допусками.

Шероховатость поверхности не входит в отклонение формы (иногда допускается нормирование отклонения формы с учетом шероховатости поверхности).

Волнистость включается в отклонение формы. Допускается (в ряде случаев) нормировать отдельно волнистость поверхности или часть отклонения формы без учета волнистости.

Под *точностью относительного движения* понимается максимальное приближение действительного характера движения исполнительных поверхностей к теоретическому закону движения, выбранному исходя из служебного назначения машины.

Следует различать понятия *точность обработки* детали, *качество сборки*, *качество поверхности* детали и т.д.

Под *точностью детали (заготовки)* следует понимать степень ее соответствия требованиям чертежа: по размерам, геометрической форме, расположению поверхностей и шероховатости.

Существует понятие «*экономическая точность*» (максимально достижимая в конкретных условиях), но так как по требованиям чертежа в ней нет необходимости – при изготовлении выдерживают тот kvalitet, который целесообразен.

Геометрические показатели точности

Реальная поверхность – поверхность ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды. Она образуется после обработки и в отличие от номинальной поверхности, изображаемой на рабочих чертежах, имеет неровности различных формы и высоты и другие искажения.

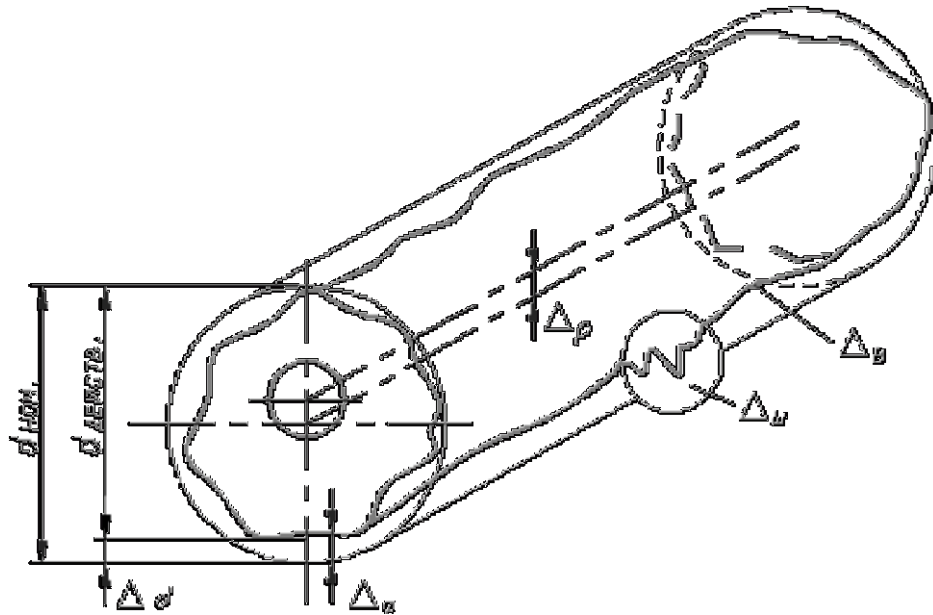


Рисунок 1.1 Схемы погрешностей:

Δd - размеров, Δp - расположение поверхностей, $\Delta \Phi$ - формы,
 $\Delta в$ - волнистость, $\Delta ш$ - шероховатость.

Номинальная поверхность – это идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом.

Свойства обработанной определяются ее *геометрическими характеристиками* и *физико-механическими свойствами*.

Согласно ГОСТ 2789-73 установлено шесть параметров шероховатости поверхности.

1. R_a - среднее арифметическое отклонение профиля
2. R_z - высота неровностей профиля по десяти точкам
3. R_{max} - наибольшая высота неровностей профиля

4. $S_{\text{ж}}$ - средний шаг неровностей профиля
5. S - средний шаг неровностей профиля по выступам
6. t_p - относительная опорная длина профиля.

Существуют понятия: *продольная* шероховатость – в направлении подачи инструмента при резании; *поперечная* шероховатость – в направлении перпендикулярном подаче инструмента. Обычно последняя в 2-3 раза больше, но для торцевого фрезерования, при доводке и суперфинишировании они равны.

Волнистость- совокупность периодически повторяющихся возвышений и впадин с шагом значительно большим, чем шаг неровностей образующих шероховатость поверхности.

Волнистость поверхности это: высота волны Wz и шаг волны Sw).

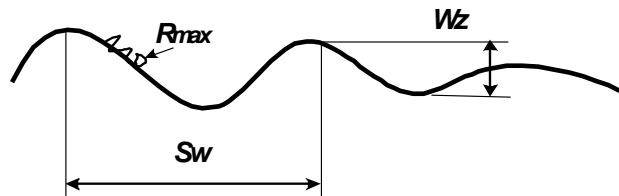


Рисунок 1.2 Схема волнистости поверхности

Макроотклонения, характеризуют погрешности формы и расположения поверхностей:

<u>Отклонения формы</u>	<u>Отклонения расположения</u>	<u>Суммарные погрешности</u>
От прямолинейности, От плоскостности (выпуклость, вогнутость); От <i>круглости</i> (овальность, огранка); От <i>цилиндричности</i> ; От <i>профиля продольного сечения</i> (бочкообразность, седлообразность, конусообразность).	От параллельности; От перпендикулярности; От наклона; От соосности.	Радиальное или торцевое биение

Физико-механические свойства поверхностного слоя это: микротвердость; вид структуры; величина и знак внутренних остаточных напряжений.

Поверхностный слой металла формируется под воздействием больших усилий резания и высоких кратковременных температур в зоне резания.

Поэтому его физико-механические характеристики отличаются от физико-механических характеристик основного металла.

Нижележащий слой также имеет сильно деформированную структуру. Например: для стальной заготовки после обработки можно выделить три зоны: поверхностный слой, нижележащий слой и сердцевину.

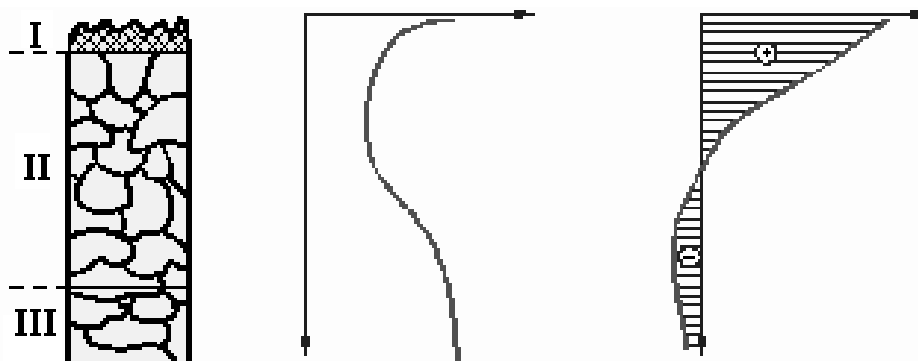


Рисунок 1.3 Структура поверхностного слоя и характер возникающих напряжений

Глубина поверхностного слоя зависит от выбранного метода и режимов обработки.

1.4.Формы организации ТП. Принципы концентрации и дифференциации операций. Методы обеспечения точности.

Формы организации выполняемых технологических процессов: *поточная* и *непоточная*.

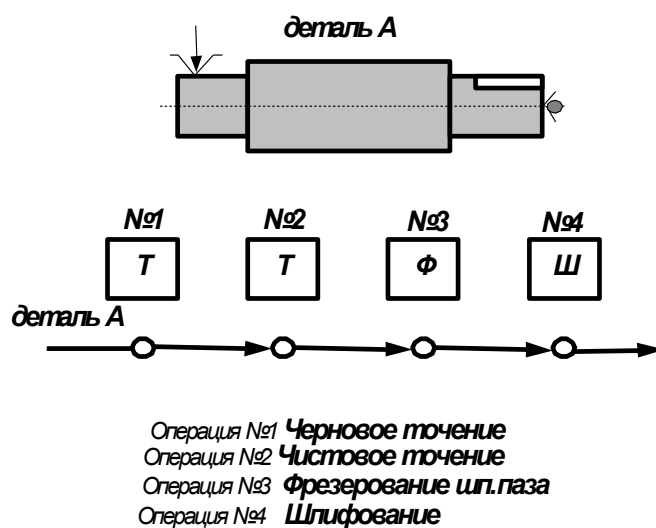
Поточная (станки установлены по ходу выполняемого процесса) и *непоточная* (станки расположены по участкам, т.е. группами).

1.Поточная форма (характерна для крупносерийного и массового производства) – имеет место, если весь ТП обработки или сборки расчленяется на операции, закрепленные за строго определенным оборудованием, расположенным в последовательности выполнения операций.

При этом,

$$T_{ум1} \approx T_{ум2} \approx \dots$$

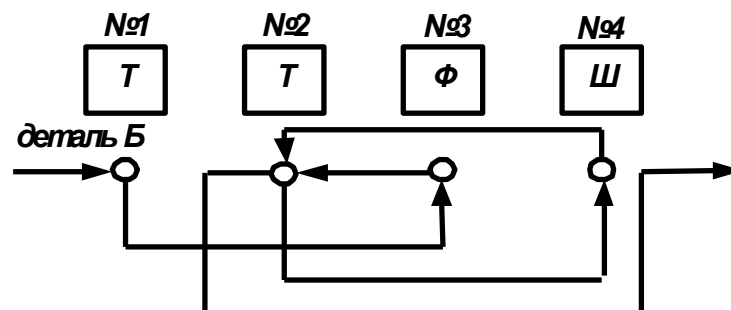
Штучное время (трудоемкость) каждой из выполняемых операций должна быть *примерно равна* или *кратна*.



Преимущества:

- 1.Непрерывность и ритмичность.
- 2.Резкое сокращение длительности цикла обработки.
- 3.Значительное уменьшение незавершенного производства.
- 4.Возможность применения прогрессивной технологии.

2.Непоточная форма (характерна для единичного и мелкосерийного производства) – обработка заготовок по всем операциям ведется партиями с перерывами во времени, а оборудование расположено по однотипности (группами) независимо от хода ТП.



Недостатки – большие транспортные пути и увеличение трудоемкости обработки и сборки.

Принципы *концентрации* (усложнения) и *дифференциации* (раздробления на более простые элементы) операций соответственно используют при малых и больших объемах выпуска.

Методы обеспечения точности

1. Метод «*пробных ходов и промеров*» (индивидуальный).

Его сущность заключается в том, что станок предварительно не настроен и, требуемый размер получают многочисленными проходами с последующими измерениями получаемого размера.

Достоинства метода пробных ходов и промеров:

1. Возможно получить высокую точность при неточном оборудовании
2. Возможно исправить погрешности исходных заготовок

Наиболее эффективен в единичном и мелкосерийном производстве.

2. Метод *автоматического получения размеров*.

Сущность в том, что станок настроен на размер, который должен быть получен автоматически.

Достоинства:

1. Выше производительность
2. Не требуется высокая квалификация рабочих

Целесообразно применять в крупносерийном и массовом производстве.

Недостатки: проявляется влияние первичных погрешностей, которые необходимо учитывать.

Основные факторы, влияющие на точность обработки

(*первичные погрешности*) можно выразить зависимостью

$$\Delta_{\Sigma} = F(\Delta_y, \Delta_m, \Delta_u, \Delta_n, E_y, \delta_z, \Delta_{\sigma}, \Delta_{cm}, B\delta),$$

Δ_y - упругие деформации технологической системы

Δ_m - тепловые деформации системы,

(для токарных операций 10-20%, для шлифовальных 60% от Δ_{Σ})

Δ_u - погрешность от влияния размерного износа инструмента, могут достигать 20-40% от суммарной погрешности,

Δ_n - погрешность настройки инструмента 20-40%,

E_y - погрешность установки детали 20-40%,

δ_z - погрешность от используемой заготовки,

Δ_{σ} - погрешность от внутренних напряжений заготовки,

Δ_{cm} - погрешность станка (точность его изготовления),

$B\delta$ - вибрации.

Условие работы без брака: суммарная (накопленная) погрешность после завершения операции не должна превышать допуск по чертежу.

$$\Delta_{\Sigma} \leq Td$$

Этапы обеспечения точности обработки

Точность обработки закладывается при проектировании детали.

На стадии технологической подготовки производства (в планировании путей ее достижения) и *за счет правильности настройки оборудования, а при изготовлении* она может быть обеспечена учетом влияния всех первичных погрешностей.

Требуемый по чертежу номинальный размер A можно получить путем удаления с поверхности заготовки некоторого слоя металла, регламентированного некоторой глубиной резания t .

Заданная глубина резания t (при механической обработке) обуславливает некоторую силу резания P_y , от которой во многом зависят упругие деформации технологической системы Δ_y и жесткость системы в целом J и, в результате завершения обработки детали будет получена определенная шероховатость Ra и точность обрабатываемой детали.

При этом, наблюдается одновременное воздействие основных первичных погрешностей: тепловых деформаций системы ΔT , размерного износа инструмента $\Delta_{и}$, проявляются неточности изготовления станка $\Delta_{ст}$, погрешности его настройки Δ_n , а также погрешности базирования E_b , закрепления E_z и приспособления $E_{пр}$.

На эти факторы (первичные погрешности) в свою очередь также влияют: усилие закрепления Q_z , степень ее непостоянства ΔQ_z , также как и непостоянство (разброс по шероховатости), вид баз, исходная шероховатость заготовки R_z , непостоянство физико-механических свойств обрабатываемого материала ΔC и колебания его твердости ΔHB , а также геометрия применяемого инструмента и режимы резания.

Таким образом, в результате влияния взаимосвязанных факторов (первичных погрешностей) будет сформирована некоторая точность и шероховатость поверхности, которые на практике принято характеризовать через погрешности размеров Δp , погрешности формы $\Delta \phi$ и погрешности, проявляющиеся через некоторое время $\Delta_{вр}$.

Вышеприведенная схема взаимосвязей является *универсальной*, а ее количественные показатели зависят от ряда дополнительных признаков: технологической схемы обработки, модели станка, вида обрабатываемого материала и т.д.

Влияние вибраций при выполнении расчетов учитывают с помощью коэффициентов динамичности для черновой обработки $K_d=1,2-1,4$; для чистовой обработки $K_d=1,0-1,1$.

1.6. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин.

Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин: износостойкость, усталостную прочность, стабильность посадок, коррозионную стойкость и другие.

Формирование качества поверхности связано с влиянием следующих групп факторов:

1. Геометрии инструмента и особенностей процесса резания;

Увеличение подачи, главного и вспомогательного угла в плане приводит к росту микронеровностей. Поэтому при чистовом точении не рекомендуются подрезные резцы.

Увеличение радиуса закругления резцов, их доводка по передней и задней поверхности – снижают шероховатость.

2. Соотношением между упругими и пластическими деформациями поверхности;

3. Возникающими вибрациями инструмента относительно заготовки.

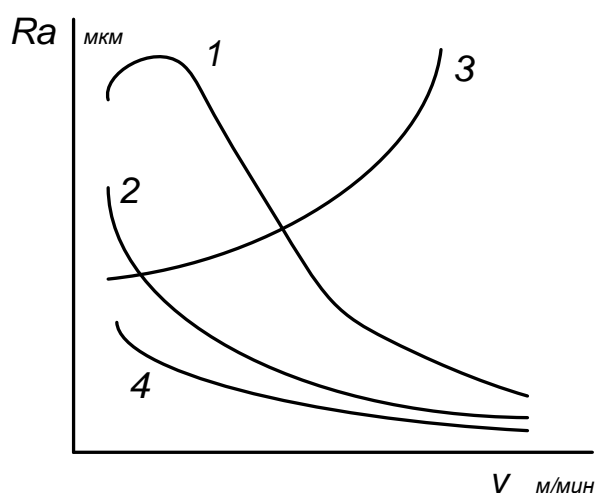


Рисунок 1.5 Зависимость шероховатости от скорости резания.

- 1-перлитно-ферритные стали;
- 2-коррозионно-стойкие и жаропрочные стали;
- 3-легкоплавкие сплавы;
- 4-среднеуглеродистые стали.

При скоростях резания $V = 20-40 \text{ м/мин}$ для среднеуглеродистых сталей (20-40 по ГОСТ1050-94) наблюдается значительное *наростообразование*, которое увеличивает (за счет царапин) шероховатость поверхности; при $V > 70 \text{ м/мин}$ нарост как правило отсутствует.

Кроме того, существует диапазон подач приводящий к образованию «заторможенного слоя» на передней поверхности инструмента, который также увеличивает высоту микронеровностей поверхности. Если величина подачи $S < 0.01 \text{ мм/об}$, возможны упругие отжатия режущего инструмента, что также ухудшает качество поверхности. Известна зависимость В.Л.Чебышева между шероховатостью и подачей $R_z = \frac{S^2}{8r}$ (r - радиус закругления резца).

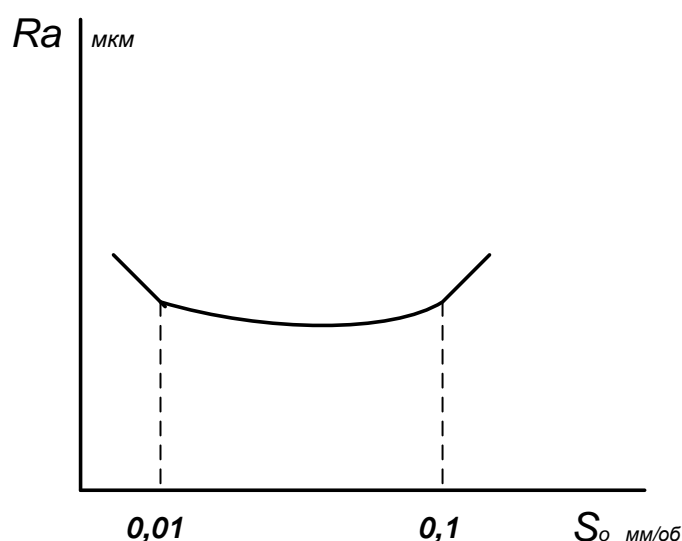


Рисунок 1.6 Зависимость шероховатости от подачи.

Трение и износ деталей в значительной степени связаны с высотой и формой неровностей поверхности.

В начальный период работы трущихся поверхностей их контакт происходит по вершинам неровностей.

Под действием этих давлений в точках контакта происходят упругое сжатие и пластическая деформация смятия неровностей, срез, отламывание и пластический сдвиг вершин неровностей, что приводит к интенсивному начальному износу трущихся деталей. В точках контакта могут возникать высокие мгновенные температуры, срыв окисной пленки, сопровождающиеся

молекулярным сцеплением и образованием узлов схватывания трущихся металлов.

В период начального износа высота неровностей уменьшается, что приводит к увеличению фактической поверхности их контакта и к снижению фактического давления.

Дальнейший процесс изнашивания протекает значительно медленнее и этот период времени определяет *срок службы детали*.

Если оптимальную для данных условий трения высоту неровностей удастся создать в процессе механической обработки, то в процессе износа она практически не изменяется, а время приработки и износ окажется наименьшим.

Увеличение высоты неровностей по сравнению с оптимальным значением повышает износ за счет возрастания механического зацепления, скалывания и среза неровностей поверхности.

Уменьшение высоты неровностей против оптимального значения приводит к резкому возрастанию износа в связи с возникновением молекулярного сцепления и заедания плотно соприкасающихся поверхностей повышенной гладкости, этому способствует выдавливание смазки и плохая смачиваемость смазкой зеркально-чистых поверхностей.

Таким образом, при проектировании машин важно назначить оптимальную шероховатость, когда износ и коэффициент трения при данных условиях изнашивания являются наименьшими.

Износ и коэффициент трения связаны и с направлением неровностей. При перпендикулярном направлении неровностей трущихся поверхностей или при их беспорядочном расположении, что наблюдается при суперфинишировании, коэффициент трения минимален.

Точность сопряжения, определяемая зазором в соединении также зависит от шероховатости поверхностей. В период начального износа высота неровностей может уменьшиться на 65-75%. Если высота неровностей

соизмерима с полем допуска на изготовление детали, то в период начального износа дополнительный зазор может достигнуть значения допуска и точность соединения будет нарушена.

Значительное влияние на износ оказывают волнистость и макрогеометрия сопряженных поверхностей. Износ происходит неравномерно, так как вначале изнашиваются выступающие части. Для обеспечения необходимой точности сопряжений в техническую документацию при проектировании вводят ограничения погрешностей формы и расположения: отклонения от плоскостности, цилиндричности, круглости, параллельности, перпендикулярности и соосности.

От качества поверхности зависит контактная жесткость стыков сопрягаемых деталей в неподвижных соединениях. Волнистость и шероховатость снижают фактическую площадь контактов, а значит и жесткость стыков. В неподвижных соединениях за счет предварительной затяжки происходит смятие неровностей и увеличение поверхности контакта, что повышает жесткость стыка.

Усталостная прочность деталей также зависит от шероховатости их поверхностей. Наличие на поверхности детали, работающей в условиях циклической и знакопеременной нагрузок, отдельных дефектов и неровностей способствует концентрации напряжений, которые могут превысить предел прочности металла. В этом случае поверхностные дефекты играют роль очагов возникновения субмикроскопических нарушений, то есть способствуют образованию усталостных трещин.

Влияние шероховатости поверхности на концентрацию поверхностных напряжений характеризуют коэффициентом концентрации напряжений:

Существенно влияние концентраторов в местах резкого изменения площади сечения детали, поэтому необходимо уменьшать шероховатость в этих местах.

Повышению износостойкости деталей способствует упрочнение поверхностного слоя, наклеп. Наклеп уменьшает амплитуду циклической пластической деформации, что сдерживает развитие усталостных трещин, Но чрезмерное упрочнение поверхности приводит к разрывам межатомных связей по плоскостям скольжения, что вызывает *шелушение* металла и ускоренный износ трущихся поверхностей.

Таким образом, упрочнение металла поверхностного слоя в процессе механической обработки или при специальных упрочняющих операциях (обкатка роликами, шариками, дробеструйной обработке и т.д.) следует производить до определенной величины.

Износостойкость деталей машин во многих случаях можно повысить изменением методов обработки, режимов резания или геометрии режущего инструмента.

Значительное влияние шероховатость поверхности оказывает на коррозию, которая возникает и интенсивнее распространяется на более грубых поверхностях.

С уменьшением шероховатости поверхности увеличивается антикоррозийная стойкость детали. Причем, из-за пластической деформации в металле при механической обработке образуются микронеоднородности, способствующие коррозии.

Шероховатость поверхности оказывает существенное влияние на условия смазки в сопрягаемых узлах и на коэффициент трения. Кроме этого, шероховатость поверхностей деталей оказывает влияние: на теплопроводность, герметичность стыков, отражательную способность поверхностей, на сопротивление протеканию жидкостей и газов и т.д.

2.ОСНОВЫ ТЕОРИИ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

При эксплуатации машин и механизмов необходимо обеспечивать определенное положение их элементов (детали и узлы).

При изготовлении деталей на станках они так же должны быть определенным образом сориентированы в пространстве относительно элементов станка или положения режущего инструмента. Поэтому для обеспечения точности обработки и сборки используют определенные правила в соответствии с *теорией базирования*.

2.1.Элементы базирования: опорная точка, комплект баз, закрепление, установка. Правило «шести точек».

В соответствии с ГОСТ21495- под *базированием* понимают - придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Базами называют поверхности линии или точки используемые при базировании.

При механической обработке на станках *базированием* принято считать придание заготовки или детали требуемого положения относительно элементов станка, которые определяют траекторию движения подачи используемого инструмента.

При установке деталей на станках необходима не только правильная ориентация, но и *закрепление* - для обеспечения условия неподвижности.

Известно, что для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве необходимо лишить его *шести степеней свободы*: трех поступательных перемещений вдоль осей координат и трех вращений вокруг указанных осей.

Поэтому многие задачи связанные с расчетом точности при базировании и установке возможно решать теоретически *посредством наложения «связей»*.

Под связями подразумеваются ограничения позиционного (геометрического) или кинематического характера, накладываемые на движение точек рассматриваемого тела (заготовки или детали).

В технологии машиностроения позиционные связи предполагаются двухсторонними, т. е. лишаящими тело возможности перемещения в обе стороны в направлении действия связи.

Эти *связи* не зависят от времени и поэтому их считают стационарными и позиционными.

При установке заготовки на опорные точки приспособлений каждая из них реализует только одну *одностороннюю связь*.

Под опорной точкой подразумевается идеальная точка контакта поверхностей заготовки и приспособления, лишаящая заготовку одной степени свободы, делая невозможным ее перемещение в направлении перпендикулярном опорной поверхности.

Правило шести точек.

Для полного базирования деталей (заготовок) приспособлений на металлорежущих станках необходимо и достаточно создать в нем 6 опорных точек расположенных определенным образом относительно базовых поверхностей заготовок или деталей.

В зависимости от числа опорных точек, с которыми база находится в контакте различают:

установочную базу А, находящуюся в контакте с тремя опорными точками и лишаящую тело трех степеней свободы (точки $a1, a2, a3$);

направляющую базу В, находящуюся в контакте с двумя опорными точками и лишаящую тело двух степеней свободы (точки $b1, b2$);

опорную базу С, имеющую контакт с одной опорной точкой и лишаящую тело одной степени свободы.

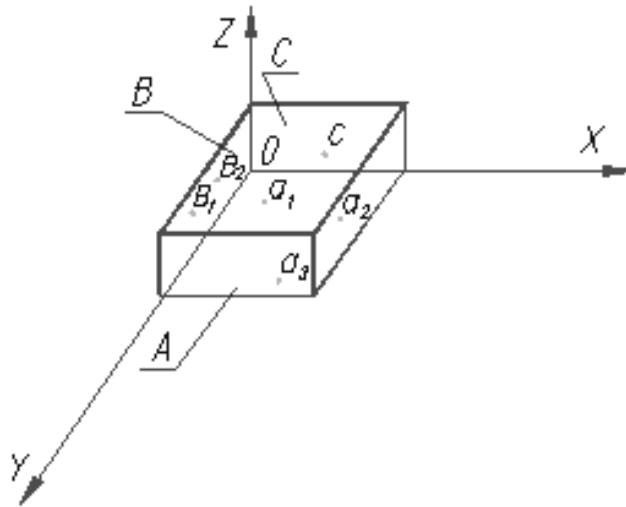


Рисунок 2.1 Схема расположения призматической заготовки в пространстве.

Каждая из названных баз определяет положение заготовки относительно одной из плоскостей системы координат в направлении перпендикулярном этой базе, т.е. в направлении одной из координатных осей.

Очевидно, что для *полного ориентирования* заготовки в приспособлении необходим *комплект из трех баз*.

В практике во многих случаях *нет необходимости в полном ориентировании* с использованием всего комплекта из трех баз («*неполная схема базирования*»).

Например, *при обработке плоскости* ориентирование заготовки на станке в направлении горизонтальных осей координат для получения требуемого размера a не имеет значения, поэтому боковые поверхности заготовки теряют значение баз (боковые поверхности используются только для закрепления и в процессе базирования не участвуют).

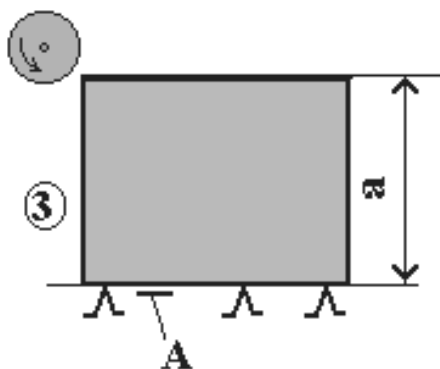


Рисунок 2.2 Пример *неполной схемы базирования* призматической заготовки.

a – выдерживаемый размер

Для получения у заготовки двух размеров, например, a и b возникает необходимость ее ориентирования с помощью установочной базы – A и с помощью направляющей базы – B .

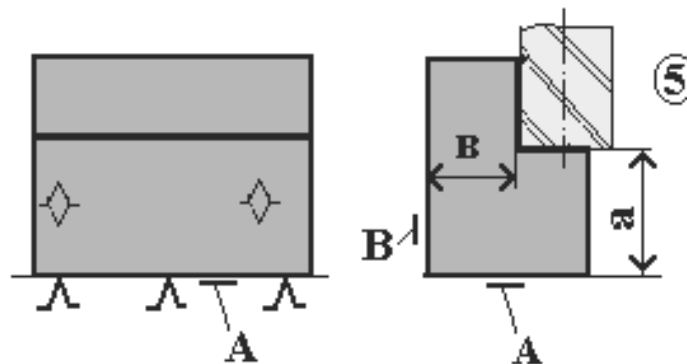


Рисунок 2.3 Пример *неполной* схемы базирования призматической заготовки.

a, b – выдерживаемые размеры

В случае, когда требуется обеспечить выполнение трех размеров a , b и c , для ориентирования заготовки необходимо использование всего комплекта из трех баз, т. е. поверхностей A, B, C .

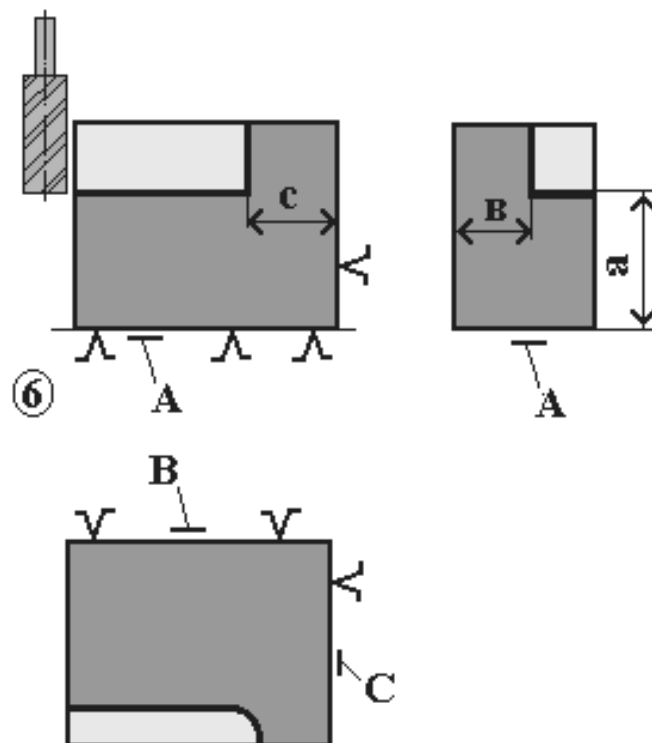


Рисунок 2.4 Пример *полной* схемы базирования.

a, b, c – выдерживаемые размеры

При обработке цилиндрических заготовок для их базирования во многих случаях тоже нет необходимости в использовании комплекта всех трех баз.

Так при установке валов в центрах (для обтачивания на токарных станках или наружного шлифования) они базируются по конусам центровых отверстий и лишаются пяти степеней свободы.

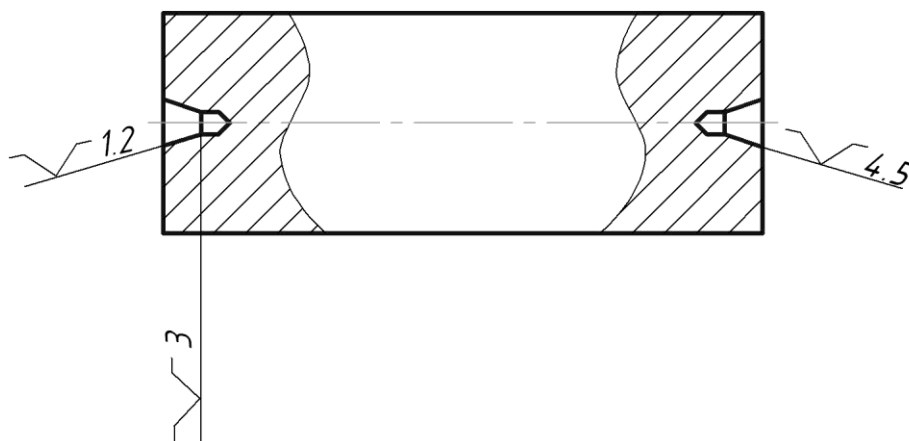


Рисунок 2.5 Схема базирования: «короткий конус» (центра).

Таким образом, в зависимости от технологической задачи, решаемой при обработке заготовки, при ее базировании в приспособлении или на станке могут быть использованы одна или все три базы, содержащие *три, четыре, пять или шесть опорных точек*.

Существует 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;

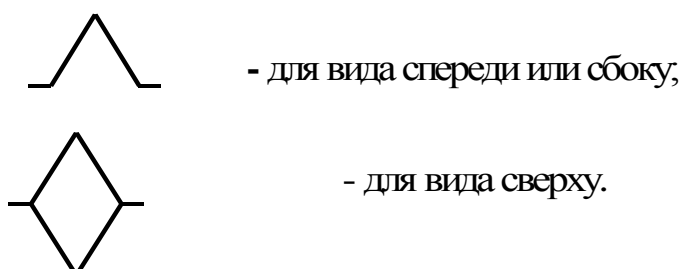
свободная (несопрягаемая) поверхность - не участвует ни в обработке, при сборке не контактирует с другими поверхностями;

исполнительная поверхность - которая в данный момент может обрабатываться.

2.2. Типовые схемы базирования деталей при обработке.

Схема базирования – схема изображения детали с нанесенными на нее опорными точками.

Согласно ГОСТ 21495- идеальная опорная точка обозначается символами:



Любую деталь при проектировании операций механообработки можно отобразить с помощью схемы базирования

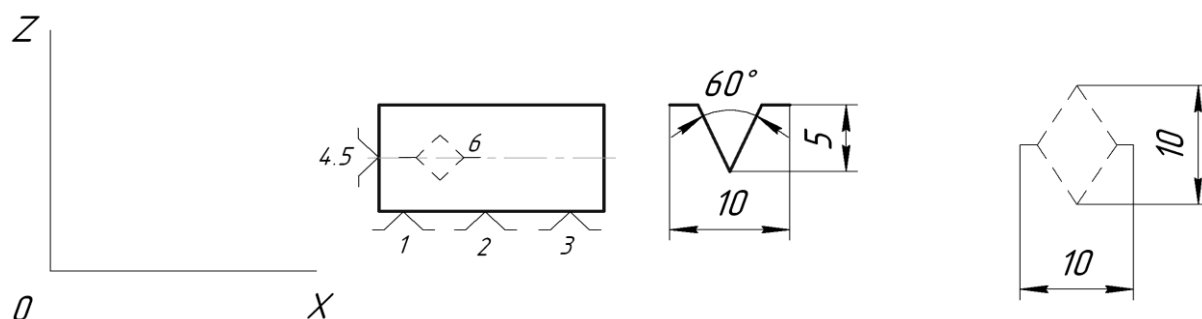


Рисунок 2.6 Схема базирования призматической заготовки



Рисунок 2.7 Схема базирования цилиндра на призме

Точки 1, 2, 3, 4 расположены на главной базирующей поверхности, которая называется *двойная направляющая база*; точка 5 – упорная база.

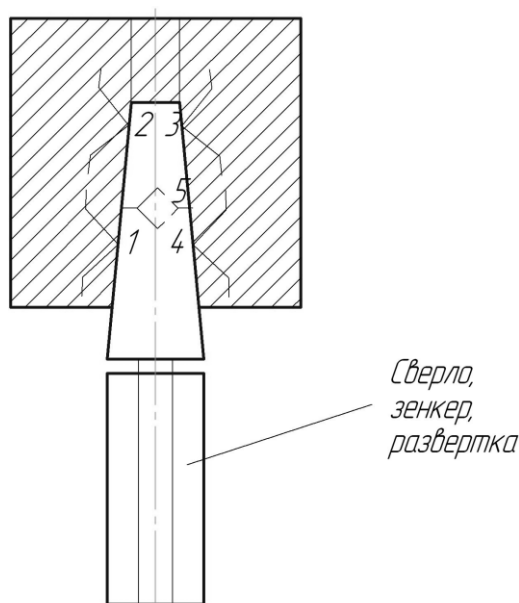


Рисунок 2.8 Схема базирования «длинный конус» (Конус Морзе)

2.3.Классификация баз.

По назначению и области применения базы подразделяются на *сборочные, конструкторские, измерительные и технологические.*

По месторасположению в выполняемом технологическом процессе их условно разделяют на: *черновые, получистовые и чистовые.*



Рисунок 2.9 Классификация баз

КОНСТРУКТОРСКАЯ БАЗА - это база используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии (ГОСТ21495-76).

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.

КОНСТРУКТОРСКИЕ БАЗЫ делят на *основные и вспомогательные*.

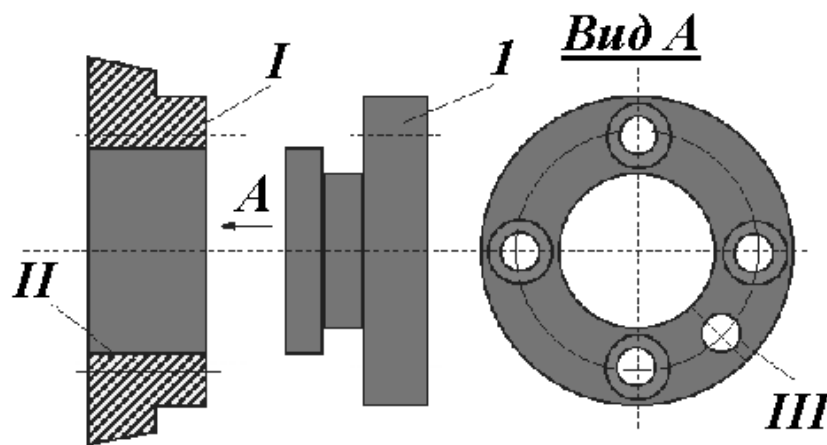


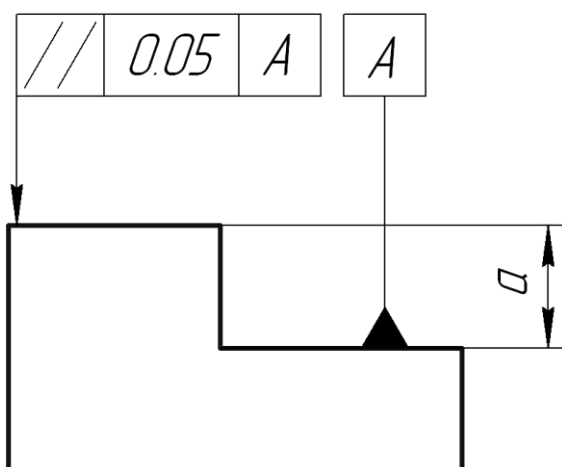
Рисунок 2.10 Пример основной и вспомогательной баз.

ОСНОВНАЯ конструкторская база принадлежит данной детали или сборочной единице и определяет ее положение в изделии.

Это поверхности – *I, II, III*.

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ называется конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице, используемая для определения положения, *присоединяемых к ней* деталей или сборочных единиц.

1-присоединяемая деталь; *I, II, III* – вспомогательные базы..



ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ БАЗОЙ

называется поверхность, линия или точка от которой производится отсчет выполняемых размеров при обработке или взаимного расположения поверхностей деталей или элементов изделия.

Рисунок 2.11 Пример измерительной базы.

A – измерительная база

При использовании в качестве измерительных баз материальных поверхностей изделия проверку производят обычными прямыми методами измерения; при использовании геометрических элементов (биссектрис углов, осевых линий и т. п.).

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.

Различают также *искусственные* и *естественные* технологические базы (например, центровые отверстия на валах изготавливают лишь для удобства изготовления валов, так как конфигурация последних не позволяет их устойчиво и надежно сориентировать и закрепить при достижении точности по чертежу).

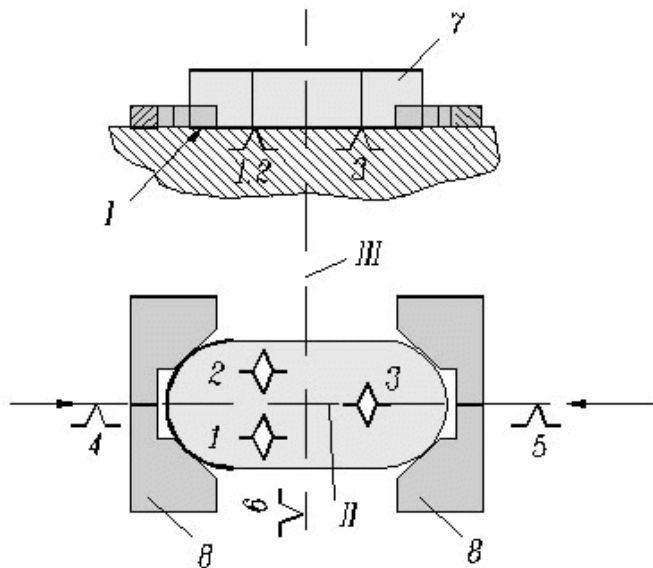


Рисунок 2.12 Пример технологической базы.

СКРЫТАЯ БАЗА - база в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

ЯВНАЯ БАЗА - база в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Например, поверхность 1 является *скрытой технологической базой*.

В этих случаях на схемах базирования изображается расположение опорных точек на скрытых базах (осях, плоскостях симметрии) символизирующих связи заготовки с выбранной системой координат.

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.

ДВОЙНАЯ НАПРАВЛЯЮЩАЯ БАЗА - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их четырех степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (поверхность 1).

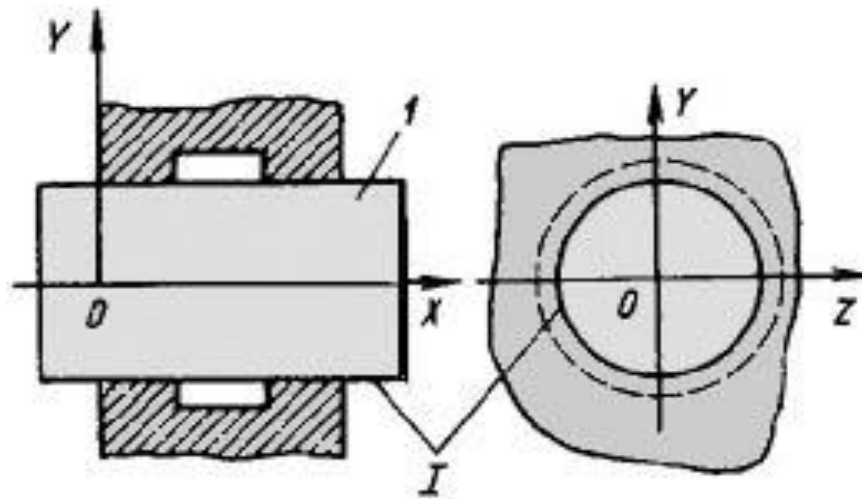
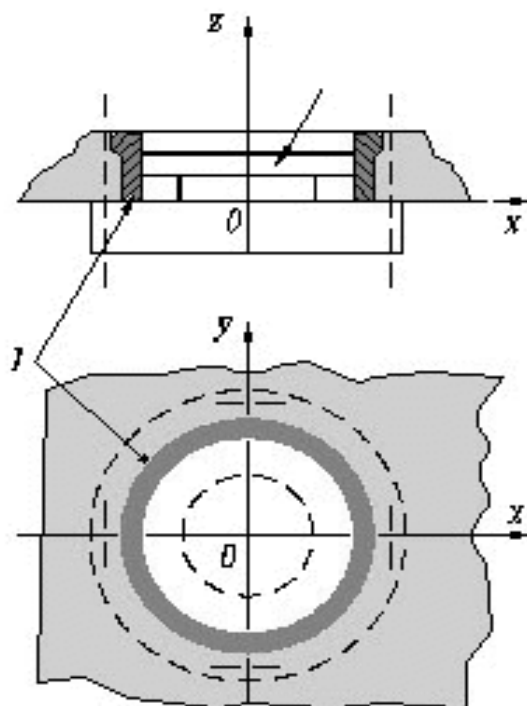


Рисунок 2.13 Пример двойной направляющей технологической базы.

ОПОРНАЯ БАЗА - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.



ДВОЙНАЯ ОПОРНАЯ БАЗА - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их двух степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей.

Рисунок 2.14 Пример двойной опорной технологической базы.

2.4.Правила (принципы) базирования. Определенность и неопределенность базирования.

1. 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 обработки но и при сборки.

2. 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).

3. Принцип последовательной смены баз.

Если не удастся разработать ТП (выполняемый при одной установке заготовки), тогда в качестве следующей базы необходимо использовать поверхность (ранее уже обработанную) точность которой должна быть выше.

Определенность и неопределенность базирования.

В практике достигнутое *правильное положение детали* может измениться, если возникнут силы или моменты сил, нарушающие контакт поверхности детали с опорными точками приспособлений.

Поэтому для сохранения полученного при базировании правильного положения детали необходимо обеспечить *непрерывность контакта* баз.

Другими словами необходимо обеспечивать *определенность базирования* деталей.

ОПРЕДЕЛЕННОСТЬ БАЗИРОВАНИЯ детали – «неизменность» ее положения относительно поверхностей другой детали или деталей, с которыми она соединена и которые определяют ее положение в процессе изготовления.

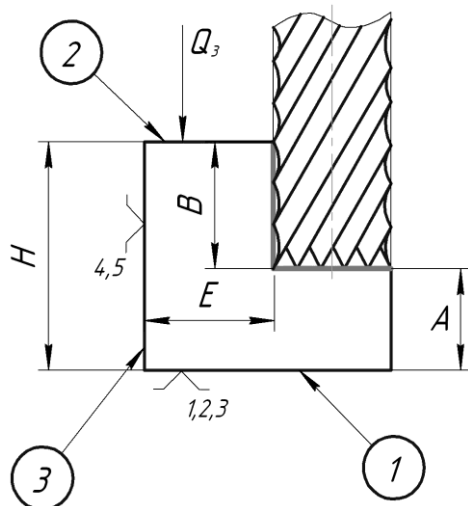
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ БАЗИРОВАНИЯ - единичное или многократное изменение требуемого положения детали относительно поверхностей сопряженных деталей (или детали), определяющих ее положение.

Неопределенность базирования всегда порождает дополнительные погрешности, и следовательно снижают точность обработки на предварительно настроенных станках.

2.5. Анализ типовых схем базирования.

1. Установка плоскими поверхностями.

Заготовка прижата силой Q_3 , пальцевой фрезой фрезеруется уступ, выдерживая размеры A, B, E . Станок предварительно настроен.



Необходимо проанализировать погрешность базирования при получении размеров A, B, E .

H – высота детали,

A – настроечный размер.

Рисунок 2.15 Пример схемы базирования плоскими поверхностями.

$\varepsilon_A = 0$ и $\varepsilon_E = 0$ - т. к. технологическая и измерительная базы совпадают,

$\varepsilon_B \neq 0$ - так как измерительной базой является поверхность 2, а технологической базой - поверхность 1.

Составляем размерную цепь

$$B = H - A$$

A - настроечный размер, значит $A = \text{const.}$

Таким образом, действительная погрешность базирования для размера B , будет зависеть от допуска на размер H :

$$\varepsilon_H = \delta H.$$

Чтобы получить $\varepsilon_B = 0$, необходимо совместить ТБ с ИБ (перевернуть заготовку), т.е. переустановить ее на поверхность 2.

2. Установка наружными цилиндрическими поверхностями.

Размеры валов в обрабатываемой партии всегда имеют некоторый разброс по диаметру. Так при фрезеровании лысок и шпоночных пазов на валах размеры последних могут быть заданы как h_1 , h_2 или h_3 .

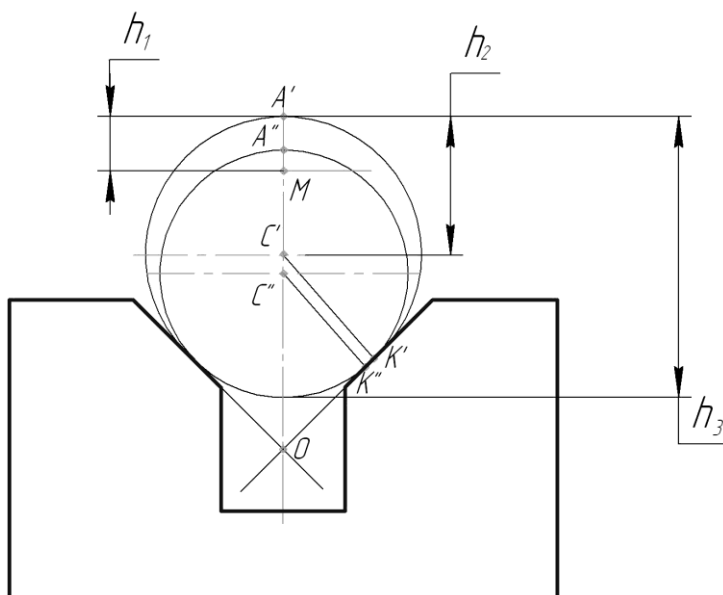


Рисунок 2.16 Пример базирования *наружными цилиндрическими* поверхностями.

Но так как диаметральные размеры обрабатываемых валов изменяются от некоторого минимального до максимального значений, положение из осей может быть расположено в точках C' или C'' . Соответственно положение верхней точки A также может изменяться.

Требуется проанализировать возникающие погрешности базирования когда размер задан одним из трех способов: как h_1 , h_2 или h_3 .

а) *выдерживаемый размер задан как h_3 .*

Составим размерную цепь

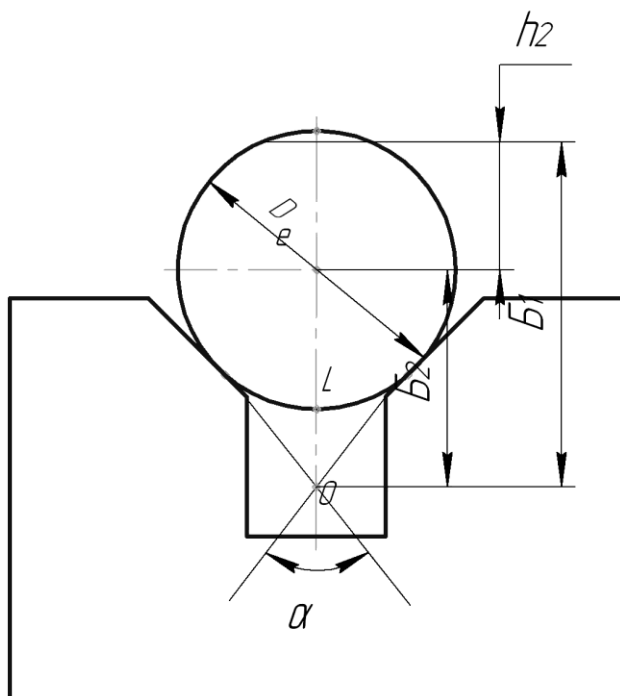
$$h = OA - OM$$

AO - настроечный размер (отрезок), $AO = const$ и на погрешность базирования не влияет.

После тригонометрических преобразований получим, что погрешность базирования будет определяться формулой

$$E_B = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right)$$

б) *выдерживаемый размер задан как h_2*



Строим размерную цепь

$$H_2 = B_1 - B_2$$

B_1 – является настроечным размером, значит вся погрешность связана с размером B_2 .

$$E_B = \frac{TD}{2} \frac{1}{\sin \alpha/2}$$

Рисунок 2.17 Пример базирования вала на призме.

в) *размер задан как h_1 (от верхней точки) и, проведя аналогичные рассуждения получим:*

$$E_B = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right).$$

Таким образом, рассмотрев три возможных варианта простановки размеров: h_1 , h_2 или как h_3 делаем вывод, что минимальная погрешность базирования будет иметь место, если выдерживаемый размер задан как h_3 .

В практике встречаются и другие подходы к снижению погрешности базирования:

А) за счет изменения положения призмы,

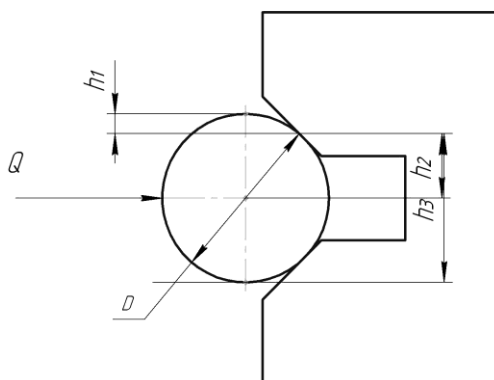


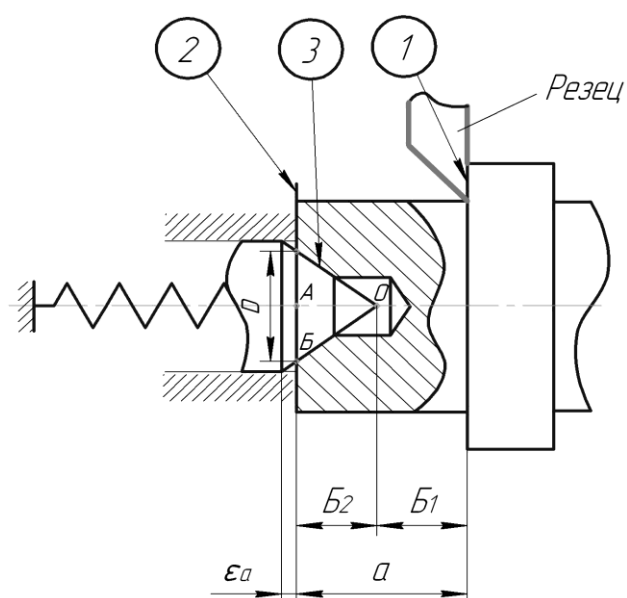
Рисунок 2.18 Пример изменения базирования вала с использованием призмы.

Б) за счет уменьшения допусков на диаметр D ,

В) за счет изменения (замены) схемы базирования.

Возможны и другие решения.

3. Установка на «короткие конуса» (в центрах)



- 1 - обрабатываемая поверхность,
- 2- измерительная (конструкторская) база,
- 3- технологическая (установочная) база,
- a – выдерживаемый размер.

$$\delta D \neq 0$$

Рисунок 2.19 Пример базирования по схеме «короткий конус».

Погрешность базирования E_a возникает из-за колебаний размеров конструкторской базы.

Составим размерную цепь $a = B1 + B2$

Будем искать E_a из треугольника AOB .

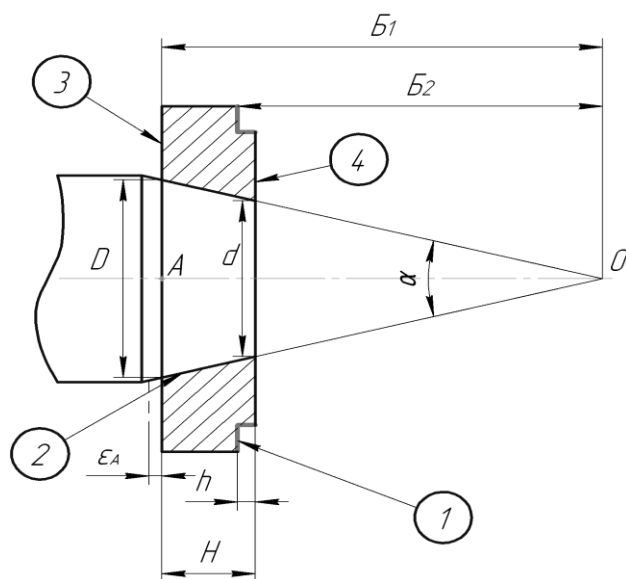
$B1 = const$, так как является настроечным размером, значит вся погрешность будет обусловлена размером $B2$.

$$B2 = OA = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \alpha/2$$

Тогда искомая погрешность базирования для размера a

$$E_a = \frac{TD}{2} \operatorname{ctg} \alpha/2.$$

4. Установка на длинный центр (конус Морзе)



- H – высота втулки,
 h – выдерживаемый размер,
 1- обрабатываемая поверхность,
 2- установочная (технологическая) база,
 3- измерительная база.

Составляем размерную цепь:

$$h = H - (B2 - B1)$$

Рисунок 2.20 Пример базирования по схеме «длинный конус».

$B1 = const$, так как является настроечным размером, значит вся погрешность при получении размера h будет обусловлена колебаниями размеров $B2$ и H .

$$B2 = OA = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \alpha/2 \quad \operatorname{ctg} \alpha/2 = \frac{D-d}{2H} \quad B2 = D/K.$$

K -конусность.

Искомая погрешность базирования для размера h .

$$E_h = \sqrt{\delta H^2 + \left(\frac{TD}{K}\right)^2}.$$

В том случае, если установка детали будет выполнена на подпружиненную оправку - базирования для размера h может быть снижена: $E_h = \delta H$.

2.6. Погрешности от закрепления и положения деталей. Пути снижения влияния погрешностей установок на точность обработки

В общем случае понятие *погрешность установки*, включает:

$$E_y = \sqrt{E_B^2 + E_3^2} + E_{п.з.}$$

E_B - погрешность базирования

E_3 - погрешность закрепления

$E_{п.з.}$ - погрешность положения заготовки

$$E_{п.з.} = \sqrt{E_H^2 + E_{y.э.}^2} + E_{y.ст.}$$

$E_{y.э.}$ - погрешность установочных элементов

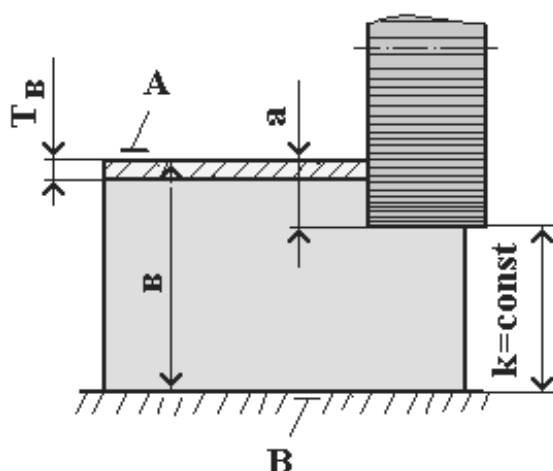
E_H - погрешность от износа установочных элементов

$E_{y.ст.}$ - погрешность от установки приспособления на станке.

После каждой очередной переустановки детали при обработке, как правило, следует пересчитывать погрешность установки (базирования).

ПОГРЕШНОСТЬ БАЗИРОВАНИЯ возникает при несовпадении измерительной и технологической баз или из-за особенностями формы опорных поверхностей заготовки и установочных элементов приспособления.

Погрешность базирования можно определить как разность предельных расстояний от измерительной базы заготовки до установленного на размер инструмента.



A - измерительная база,
 B - технологическая база,
 a — выдерживаемый
размер,
 k -настроечный размер

Рисунок 2.21 Пример возникновения погрешности базирования

Поле рассеяния размера a , связанное с погрешностью базирования, находится из уравнения:

$$\varepsilon_6 = \omega_6 = T_6$$

Погрешность базирования в каждом конкретном случае определяется из геометрических соотношений и при определенных условиях может быть сведена к нулю.

Погрешности от закрепления заготовок

При закреплении заготовки в приспособлениях может происходить ее смещение (выжимание) из приспособления, приводящее к появлению зазора S между базирующей поверхностью заготовки и установочной поверхностью приспособления по отношению к которой производится настройка станка.

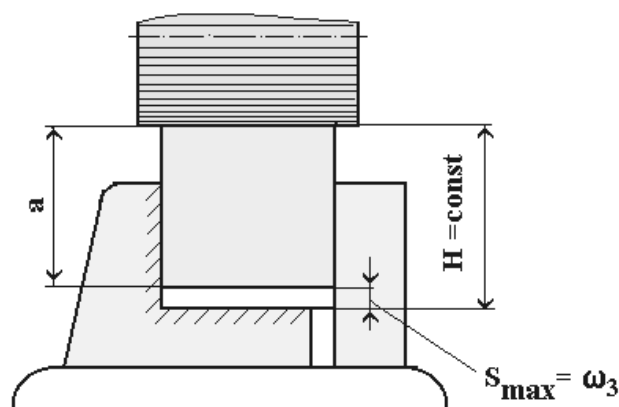


Рисунок 2.22 Пример возникновения погрешности закрепления.

Смещение заготовки в момент ее закрепления в приспособлении вызывает рассеяние размера **a** (см. рис) с полем рассеяния ω_z , определяемым в большинстве случаев экспериментальным путем.

Погрешность закрепления $\varepsilon_z = \omega_z$ зависит от конструкции и состояния зажимного устройства приспособления и от направления усилия зажима.

Минимальная погрешность закрепления – если зажимное усилие направлено перпендикулярно технологической установочной базе.

Во всех случаях *погрешность закрепления* не равна нулю в связи с неточностью базирующих опорных поверхностей заготовок и наличием контактных деформаций поверхностей стыка.

Эти деформации в общем виде описываются нелинейным законом:

$$y = CP^n,$$

где **C** - коэффициент, характеризующий вид контакта, материал заготовки, шероховатость и состояние его поверхностного слоя;

P - сила, действующая на контактный элемент (опору);

n - показатель степени.

Контактные деформации поверхностей стыка сопровождаются перемещением технологической и измерительной баз заготовок относительно установленного на размер инструмента и поэтому также вызывают появление *погрешности закрепления*.

Погрешности положения заготовки (приспособления)

Эти погрешности возникают от неточности изготовления и сборки самого приспособления:

- погрешности изготовления установочных элементов приспособления, его делительных устройств;
- погрешности от износа элементов приспособления;
- неточности установки приспособления на станке.

Для различных приспособлений значения перечисленных погрешностей находятся в пределах $0,005...0,2\text{мм}$, и суммируясь как случайные величины, образуют общую погрешность положения заготовки:

3.РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ.

Принято различать *три этапа выполнения технологических операций: подготовка, настройка и обработка.*

На каждом этапе формируется некоторая часть погрешностей.

При механической обработке деталей *на предварительно настроенных станках* возможны погрешности от факторов, возникающих при обработке и снижающих точность.

Эти погрешности желательно предварительно рассчитывать и получить, таким образом, *суммарную погрешность*, которую необходимо сравнить с допуском на выдерживаемый размер.

3.1.Погрешности от упругих деформаций технологической системы.

Технологическая система (станок, приспособление, инструмент, деталь) представляет собой упругую систему, в которой влияние сил резания и закрепления, инерционных и других сил приводит к образованию погрешностей форм и размеров обрабатываемых деталей.

На рисунке 3.1 представлены две схемы обработки цилиндрической детали: с закреплением *в центрах* («а») и в трехкулачковом токарном *патроне* («б»), которые иллюстрируют возникающие упругие деформации Δ_y , а также обусловленные ими погрешности формы детали (*бочкообразность* и *конусообразность*).

Упругие деформации Δ_y обусловлены отжатиями основных узлов и отдельных элементов технологической системы, а также контактными деформациями и в общем случае могут достигать 20...40% от суммарной погрешности обработки.

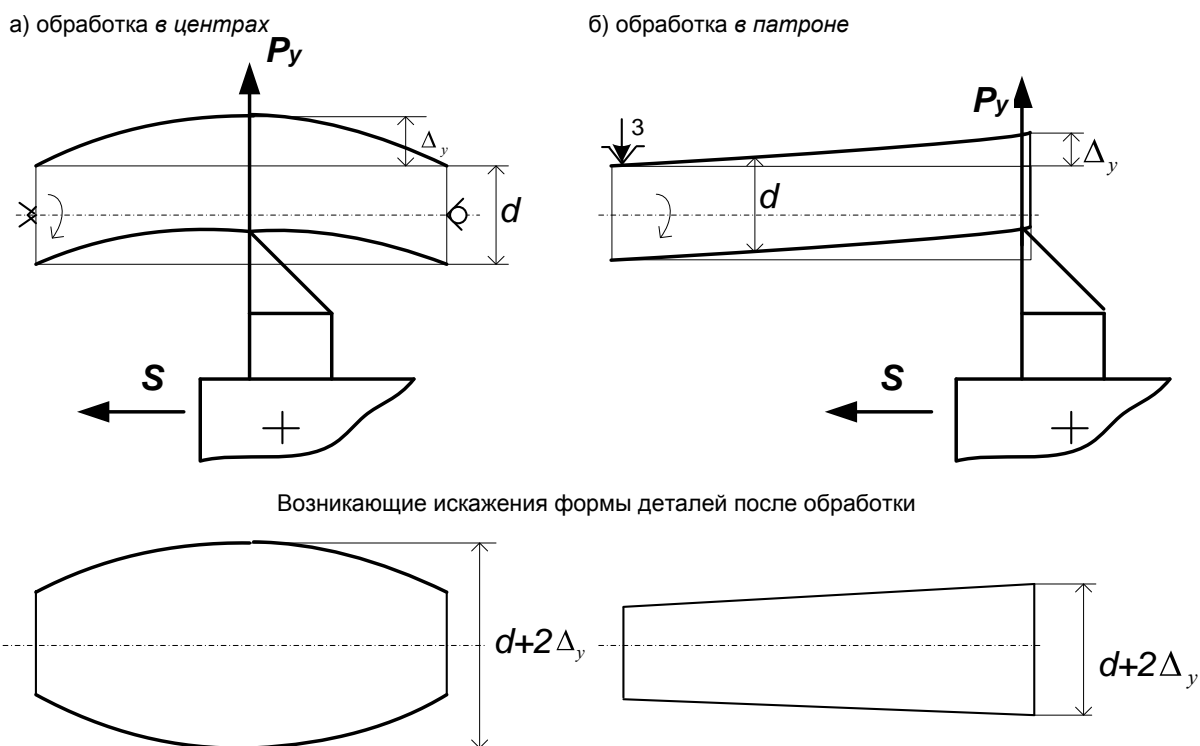


Рисунок 3.1 Схемы формирования погрешностей от упругих деформаций.

Нестабильность сил резания (из-за колебаний снимаемого припуска твердости материала даже в пределах обрабатываемой партии деталей), различная жесткость детали при обработке (в каждый из моментов времени обработки поверхности детали) - обуславливают и неравномерность упругих деформаций.

Для количественной оценки упругих деформаций технологической системы используют понятия *жесткость* и *податливость*.

Жесткостью системы называется способность системы оказывать сопротивление деформирующим силам.

По А.П. Соколовскому, *жесткость технологической системы* определяется как отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в том же направлении:

$$j_{\text{сист}} = \frac{P_y}{y},$$

где $j_{\text{сист}}$ - жесткость технологической системы, Н/мм;

P_y - радиальная составляющая силы резания, Н;

y - упругие деформации технологической системы (смещение режущей кромки инструмента), мм.

Для удобства расчетов часто используется величина обратная жесткости, которая называется *податливостью*.

Податливость технологической системы - способность этой системы упруго деформироваться под действием прикладываемых к ней внешних сил:

$$W_{\text{сист}} = \frac{y}{P_y} = \frac{1}{j_{\text{сист}}}.$$

Суммарная податливость системы равна сумме податливостей элементов технологической системы:

$$W_{\text{сист}} = W_{\text{ст}} + W_{\text{лр}} + W_{\text{инстр}} + W_{\text{дет}}.$$

Откуда жесткость системы будет равна:

$$\frac{1}{j_{\text{сист}}} = \frac{1}{j_{\text{ст}}} + \frac{1}{j_{\text{лр}}} + \frac{1}{j_{\text{инстр}}} + \frac{1}{j_{\text{дет}}}.$$

Жесткость- величина непостоянная $J \neq \text{const}$

P_y - рассчитывается по формулам теории резания, а величина y определяется экспериментально.

$J_{\text{ст}}$ - жесткость станка и т. д.

W – податливость (величина, обратная жесткости).

Жесткость новых станков токарной группы составляет $J_{\text{ст}}=20000-40000$ Н/мм, для некоторых типов станков $J_{\text{ст}}=100000$ Н/мм (шлифовальные и координатно-расточные станки).

Таким образом, погрешности от упругих деформаций зависят и определяется жесткостью технологической системы СПИД.

В практических расчетах учитывают только *податливость* станка и обрабатываемой детали

$$W_{\text{сист}} = W_{\text{ст}} + W_{\text{дет}};$$

$$\frac{1}{J_{\text{сист}}} = \frac{1}{J_{\text{ст}}} + \frac{1}{J_{\text{дет}}}.$$

Величина *упругих деформаций* обрабатываемых деталей в значительной степени зависит от схемы обработки, ее можно рассчитать по известным зависимостям из курса сопротивления материалов. Так, для заготовки, закрепленной в патроне и поддерживаемой центром, максимальные упругие деформации определяют по формуле:

$$y_{\text{дет}} = \frac{P_y l^3}{100 E J},$$

где, ***l*** - длина заготовки, мм;

E - модуль упругости 1-го рода, *H / мм²*;

J - момент инерции поперечного сечения заготовки, *мм⁴* (для круглых заготовок $J = 0,05d^4$);

d - номинальный диаметр детали, *мм*.

Тогда жесткость заготовки будет равна:

$$j_{\text{зар}} = \frac{100 E J}{l^3}.$$

Величину радиальной составляющей силы резания рассчитывают по одной из формул курса “Теория резания” или находят по справочнику технолога-машиностроителя. Например, для токарных операций:

$$P_y = C_y S^x t^m HВ^n,$$

где ***C_y*** - эмпирический коэффициент;

S - подача, мм/об;

t - глубина резания, мм;

HВ - твердость материала заготовки;

x, m, n - показатели степени).

Жесткость всех составляющих элементов технологической системы, как правило, определяют экспериментально или по паспортным данным станка.

Среднестатистическая жесткость новых станков составляет $j_{cm} = 2000-40000$ Н/мм (до 100000 Н/мм), а для выработавших свой ресурс - менее 10000 Н/мм.

Производственные методы оценки жесткости.

Различают понятия “статическая жесткость” и “динамическая жесткость”.

Статическая жесткость оценивается на неработающем станке (в статике), а динамическая жесткость - при работающем станке (в динамике).

Оценка динамической жесткости технологической системы применяют три метода: *ступенчатого резания; прямой и обратной подачи; фактической глубины резания.*

1. *Метод ступенчатого резания (или уступа)* основан на имитации колебаний припуска в различных сечениях реальной заготовки посредством обработки на достаточно коротком участке максимального и минимального диаметров последней за один рабочий ход, что влечет за собой изменение силы резания и, следовательно, различных значений упругих деформаций технологической системы.

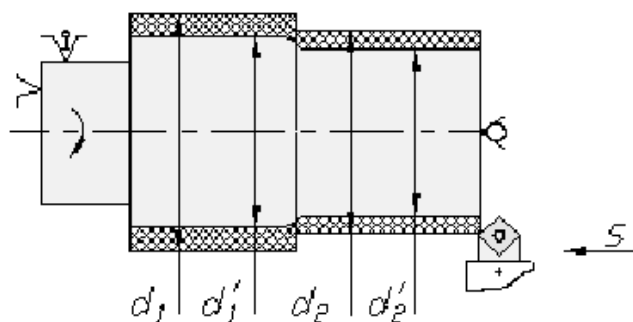


Рисунок 3.2 Схема определения жесткости методом *ступенчатого резания.*

Реализация метода заключается в предварительном измерении (до обработки) диаметров d_1 и d_2 , а затем повторном измерении этих диаметров в тех же сечениях заготовки после обработки d_1' и d_2' .

Разность диаметров ступеней заготовки и является *погрешностью исходной заготовки*, а разность диаметров ступеней после обработки - *погрешностью обработки детали*:

$$\Delta_{\text{зар}} = \frac{d_1 - d_2}{2}; \Delta_{\text{дет}} = \frac{d_1' - d_2'}{2}.$$

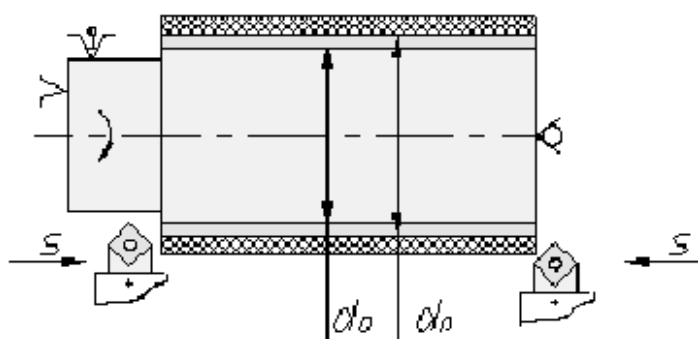
Отношение погрешности исходной заготовки к погрешности обработанной детали называют уточнением, показывающим, во сколько раз стала точнее обработанная деталь (заготовка):

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{зар}}}{\Delta_{\text{дет}}} = \frac{d_1 - d_2}{d_1' - d_2'}.$$

Полученное значение уточнения используют затем для расчета динамической жесткости технологической системы:

$$j_{\text{сист}} = C_y S^x H B^n \varepsilon.$$

2. *Метод прямой и обратной подачи* заключается в измерении диаметров обработанной поверхности заготовки после прямого (d_n) и обратного ходов (d_o) применяемого инструмента.



Разность диаметров, обусловленная упругими деформациями из-за различных сил резания при прямом и обратном ходах инструмента, и есть упругие деформации системы:

$$y = \frac{d_n - d_o}{2}$$

Рисунок 3.3 Схема определения жесткости методом *прямой и обратной подачи*.

Отношение радиальной составляющей силы резания (P_y) к деформации есть жесткость системы:

$$j_{\text{сист}} = \frac{P_y}{y} = \frac{C_y S^x t^m H B^n}{y}.$$

3. *Метод фактической глубины резания* основан на выявлении фактической глубины резания.

Сущность метода заключается в предварительной обточке исходной заготовки в некоторый размер (d_i), после чего производится установка “на ноль” лимба станка. Далее по лимбу устанавливают заданную глубину резания:

$$t_{\text{зар}} = \frac{d_1 - d_{\text{зар}}}{2}.$$

и производят обработку поверхности заготовки за один рабочий ход.

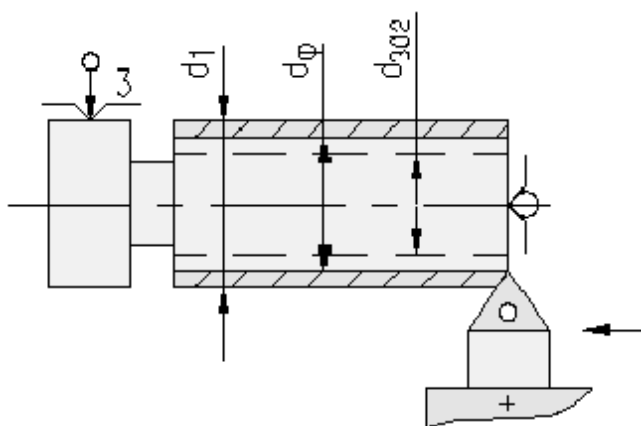


Рисунок 3.4 Схема определения жесткости по методу *фактической глубины резания*.

При измерении оказывается, что полученный диаметр заготовки (d_ϕ) отличается от заданного (из-за упругих деформаций системы), т.е. фактическая глубина резания будет составлять

$$t_\phi = \frac{d_1 - d_\phi}{2}.$$

Разность заданной (теоретической) и фактической глубины резания и будет характеризовать величину упругих деформаций технологической системы:

$$y = t_{\text{зар}} - t_\phi = \frac{d_{\text{зар}} - d_\phi}{2},$$

а динамическая жесткость системы определяется из отношения последней к радиальной составляющей силы резания

$$j_{\text{сист}} = \frac{P_y}{y} = \frac{C_y S^x t^m H B^n}{y}.$$

В реальных условиях производства возникает необходимость выявления отдельных составляющих жесткости (податливости) технологической системы (например, оценить жесткость конкретного станка).

Для уменьшения упругих отжатий в технологической системе следует:

- а) уменьшить число стыков в технологической системе,
- б) использовать «противоположные» схемы резания,
- в) применять оптимальные режимы обработки,
- г) использовать подвижные или неподвижные люнеты.

3.2. Погрешности от размерного износа инструмента

Причинами размерного износа режущих инструментов является *трение стружки* о переднюю поверхность инструмента и *трение* его *задней поверхности* об обрабатываемую поверхность детали.

Изнашивание происходит и по задней и передней поверхности (реже). Это приводит к тому, что при обработке *партии деталей* выдерживаемый размер будет постепенно увеличиваться (размер первой детали будут меньше последней на величину размерного износа).

Износ определяет период стойкости режущего инструмента, а его величина зависит от характера технологической операции (черновой, получистовой или чистовой).

За критерий изнашивания принят *износ по задней поверхности* режущего инструмента U .

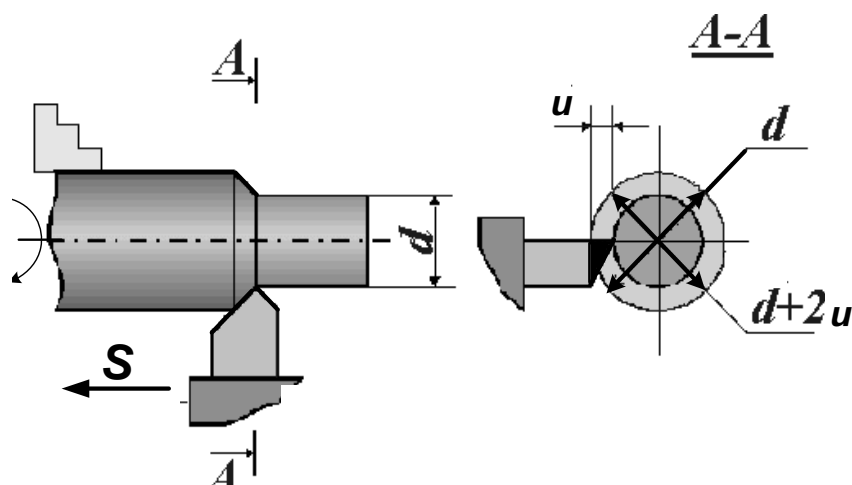


Рисунок 3.5 Схема формирования погрешности от размерного износа

На точность обработки влияет износ u лезвия инструмента в направлении перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, который и называют *размерным износом*.

Критические (предельные) значения размерного износа определяют период между переточками режущего инструмента или же его замены.

Оценку износа удобно характеризовать зависимостью размерного износа от пути резания $U = f(L)$.

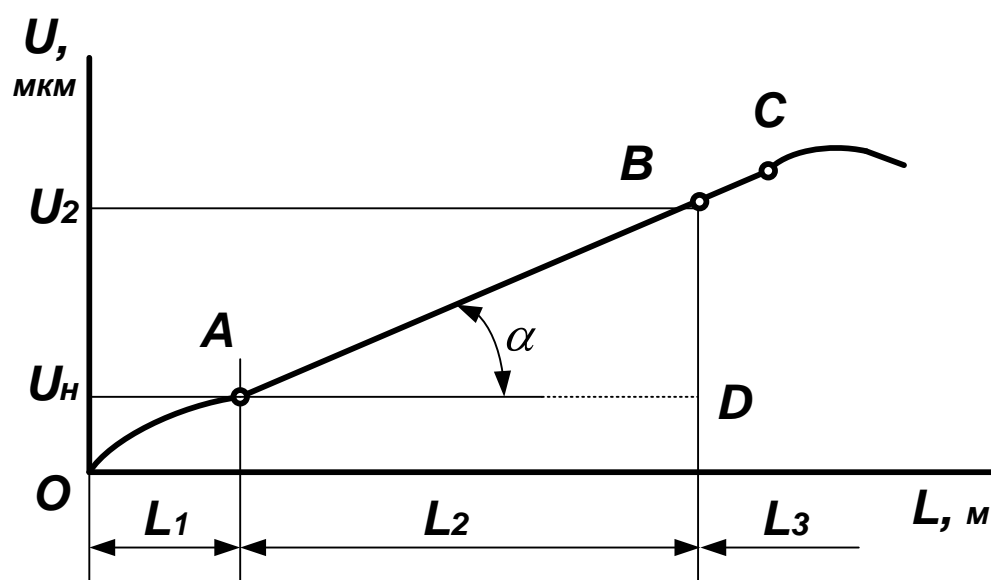


Рисунок 3.6 Зависимость износа от пути резания $U = f(L)$

На графике (рисунок 3.6) можно наблюдать три основных периода износа:

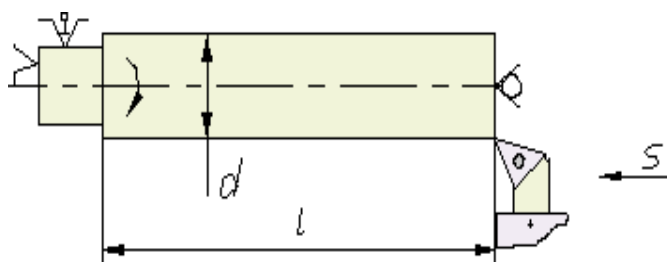
период *начального износа* U_H или *участок* OA (в этот промежуток времени происходит “приработка” режущего инструмента, его протяженность $L_1=800-1000$ м);

период *нормального износа* U_2 или *участок* OA в котором зависимость $U = f(L)$ близка к линейной ($L_2=30000-40000$ м);

период *интенсивного* (катастрофического) *износа* L_3 , появление которого свидетельствует о возможном появлении бракованных деталей и опасности разрушения режущего инструмента.

Для периода *нормального износа* путь резания L_p определяют по конкретной схеме обработки.

Для токарной обработки путь резания L_p :



$$L_p = \frac{\pi d l}{1000 S} \quad L_p = v T$$

где d - диаметр обрабатываемой заготовки, мм; l - длина обработанной поверхности, мм; S - подача, мм/об; V - скорость резания, м/мин; T - время работы резца, мин.

Рассмотрев треугольник ABD (рисунок 3.6) можно выразить, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{BD}{AD}$. Эту величину называют *интенсивностью износа*. Она

характеризуется величиной *относительного износа* U_0 , т.е. размерным износом инструмента на *1000 м пути резания*

$$U_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{U_2}{L_2 \cdot 1000}.$$

С учетом величин *относительного* U_0 и *начального износа* U_H , можно определить *полный размерный износ* U :

$$U = U_H + U_0 \frac{L_p}{10^6}$$

В таблице приведены значения *относительного* U_0 и *начального* U_H износа для чистового точения и растачивания, для которых влияние размерного износа имеет существенное значение.

<i>Материал</i>		<i>Износ</i>	
заготовки	инструмента	начальный U_H , мкм	относительный U_0 мкм/км
Сталь углеродистая и легированная	T15K6, T30K4	2...8	2...10
Серый чугун	BK4, BK8	3...10	3...12
Закалённый чугун (HB 400)	ЦМ332	10	8
Углеродистые и легированные стали	ЦМ332	1...3	0,5...1,0
Цветные сплавы	Алмаз	-	0,0005...0,001

При обработке деталей по методу *автоматического получения размеров* возможна корректировка настроечного размера (резцы, фрезы, шлифовальные круги и т.п.), что позволяет компенсировать влияние размерного износа на точность обработки.

Для жестких размерных и фасонных инструментов такая компенсация исключена.

При обработке заготовок методом *пробных рабочих ходов и промеров* разовая установка инструмента исключает влияние размерного износа на точность размера, однако, погрешности формы будут иметь место.

Своевременный контроль их размеров позволяет принимать решения по корректировке наладки станка.

Для снижения влияния *размерного износа* рекомендуется:

1. использование более износостойких инструментов;
2. применением различных СОЖ;
3. использованием инструмента с оптимальной геометрией ($\alpha = 8...15^\circ$);
- 4 - применять инструмент с доводкой по его задней поверхности).

Погрешности от тепловых деформаций системы

Источниками тепловыделения в технологической системе являются:

- трение стружки о переднюю поверхность режущего инструмента;
- трение задней поверхности режущего инструмента по обработанной поверхности детали;
- потери на трение в подвижных механизмах станка (подшипниках, зубчатых передачах и т.п.),
- тепловыделение из зоны резания.

Весь расчет чаще всего сводится к определению тепловых деформаций инструмента.

Выделяющееся в зоне резания тепло частично уносится с СОЖ, частично рассеивается в окружающем пространстве лучеиспусканием и конвективным теплообменом, а также передается заготовке и режущему инструменту, а также станку. Это приводит к разогреву станка, заготовки и режущего инструмента и нарушению взаимного положения заготовки и режущей кромки инструмента.

Наибольшее влияние на точность механической обработки оказывают тепловые деформации режущего инструмента и обрабатываемой заготовки; влиянием остальных составляющих, как правило, можно пренебречь.

Тепловые деформации обрабатываемой заготовки(детали) $\Delta_{тд}$ зависят от количества теплоты, поступающей в заготовку из зоны резания, массы и удельной теплоемкости материала заготовки. Количественно они могут быть определены по известной зависимости.

$$\Delta_{тд} = \alpha \cdot d \cdot (T_{i-1} - T_i)$$

где α - температурный коэффициент линейного расширения материала заготовки;

d - диаметр обрабатываемой заготовки, мм;

T_{i-1}, T_i - соответственно исходная и текущая (в i -й момент времени) температура детали.

Тепловые деформации инструмента $\Delta_{ти}$, приводят к удлинению державки, а следовательно, к смещению режущих кромок и изменению размеров (уменьшению) обрабатываемых диаметров, т.е. образованию погрешности обработки.

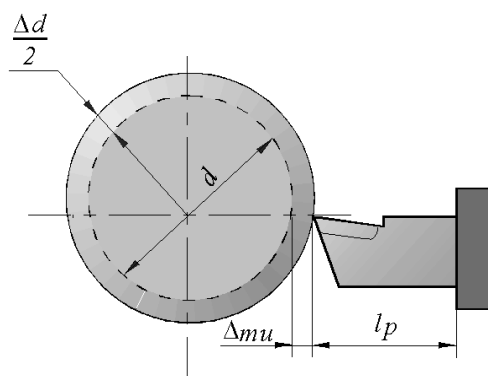


Рисунок 3.7 Схема уменьшения диаметра обрабатываемых деталей в партии из-за температурного удлинения резца.

Зависимость тепловых деформаций резцов от времени их работы, иллюстрирует процесс образования погрешности обработки от изменения размеров применяемого инструмента.

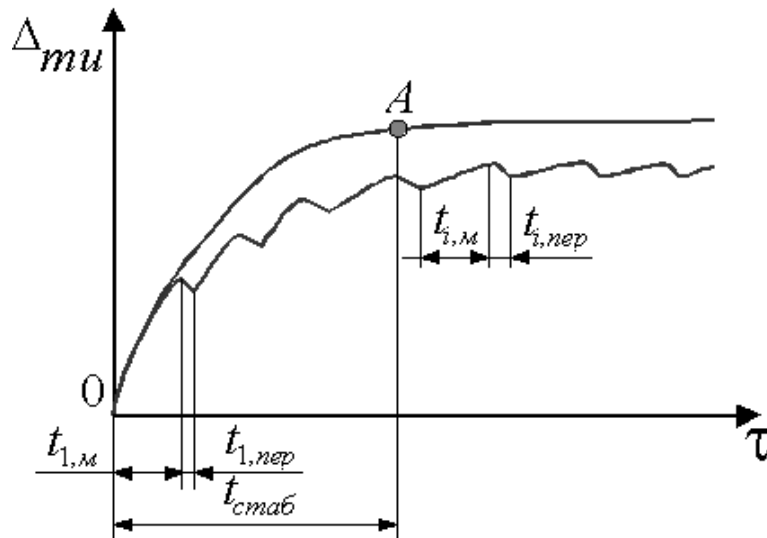


Рисунок 3.8 Зависимость тепловых деформаций инструмента от времени его работы.

Точка A на графике и соответствующее ей время $\tau_{стаб}$ показывают момент установления *теплового равновесия системы*.

Участок OA , изменяющийся по экспоненциальному закону может быть описан зависимостью:

$$\Delta_{tu} = C \cdot \frac{l_p}{F} \cdot \sigma_b (t \cdot S)^{0,75} \cdot v^{0,5} \cdot \left(1 - e^{-0,25 \cdot \tau_i} \right),$$

где C - эмпирический коэффициент ($C=4...4,5$);

l_p - вылет резца, мм;

F - площадь поперечного сечения тела резца, мм²;

σ_b - предел прочности обрабатываемого материала детали, кг/мм²;

v - скорость резания ($v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$), м/мин;

t, S - соответственно глубина резания и подача;

τ - время работы резца (до точки A), мин.

Тепловое равновесие (при котором прекращается удлинение резцов) наступает примерно через 12...24 минут непрерывной работы, а общее

тепловое равновесие всей *технологической системы* наступает примерно через 2-3 часа работы.

Практически же в условиях производства неизбежны перерывы в работе, поэтому с учетом перерывов (станок и инструмент успевают охладиться):

$$\Delta_{\tau} = \Delta_{\tau\text{и}} \left(\frac{\tau_{\text{маш}}}{\tau_{\text{маш}} + \tau_{\text{пф}}} \right)$$

$$\Delta'_{\tau\text{и}} = \Delta_{\tau\text{и}} \frac{\tau_{\text{маш}}}{\tau_{\text{маш}} + \tau_{\text{пф}}}$$

где $\tau_{\text{маш}}$, $\tau_{\text{пф}}$ - соответственно продолжительность машинного времени и времени перерывов, мин.

Для снижения влияния тепловых деформаций инструмента ($\Delta_{\tau\text{и}}$) и обрабатываемой детали ($\Delta_{\tau\text{д}}$) на точность механической обработки применяют: различные смазочно-охлаждающие жидкости.

Погрешности обработки, вызванные тепловыми деформациями могут достигать 30...40% от суммарной погрешности обработки.

При обработке среднеуглеродистых сталей диаметром до 50 мм, их температурные деформации могут достигать 20-25 мкм.

3.4. Влияние геометрической точности станка на точность обработки

Каждый станок состоит из узлов, которые в совокупности образуют единую технологическую систему. При этом одна часть узлов связана с обрабатываемой заготовкой, другая с режущим инструментом.

Погрешности взаимного положения неподвижно закрепленных или перемещаемых узлов станка (геометрические погрешности) обусловлены либо неточностью изготовления соответствующих элементов станка (т.е. деталей, из которых состоит узел) либо износом контактирующих поверхностей деталей.

Погрешности изготовления металлорежущих станков приводят к нарушению взаимного расчетного положения режущего инструмента и

заготовки. То есть появляется погрешность обработки, вызванная геометрической погрешностью станка.

Геометрические погрешности станков регламентированы:

например, для станков нормальной точности установлены следующие нормы:

- Радиальное биение шпинделя, мм $0,01-0,015$
- Торцевое биение шпинделя, мм $0,01 - 0,02$
- Прямолинейность и параллельность направляющих на длине 1000мм $0,02$.

Погрешности от геометрической неточности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые детали.

Геометрические неточности станка можно определить, рассматривая геометрическую связь заготовки и соответствующего элемента станка.

Так например, при непараллельности направляющих станка и оси вращения шпинделя погрешность обработки заготовки в продольном направлении будет равна:

$$\Delta_{\text{ст.пр}} = C \frac{L_{\text{д}}}{L},$$

где C - допускаемая величина отклонения параллельности направляющих к оси вращения шпинделя; ($C=0,02...0,04$ для станков токарной группы),

$L_{\text{д}}$ - длина обрабатываемой поверхности детали;

L - длина направляющих станка.

Такие погрешности станка как овальность шеек шпинделя, овальность подшипников, радиальное биение шпинделя и т.д. искажают форму поперечного сечения обрабатываемой заготовки.

Погрешности обработки заготовки (детали) в продольном $\Delta_{\text{ст.пр}}$ и поперечном $\Delta_{\text{ст.поп}}$ направлениях, вызванные геометрическими погрешностями станка, $\Delta_{\text{ст}}$ суммируются как векторные величины

$$\Delta_{\text{ст}} = \sqrt{\Delta_{\text{ст.пр}}^2 + \Delta_{\text{ст.поп}}^2}$$

Таким образом, в расчетах точности обработки деталей следует учитывать влияние неточности изготовления станков.

В совокупности эти неточности приводят к формированию погрешностей формы: отклонениям *от цилиндричности* или *круглости* обрабатываемых деталей.

На рисунке показан пример неточности взаимного расположения переднего и заднего центров станка токарной группы. В случае обработки деталей на таком станке, форма последних будет представлять собой в продольном сечении гиперboloид вращения. Это обусловлено тем, что в различных сечениях *А–А* и *Б–Б* изменяется положение резца по отношению к обрабатываемой заготовке.

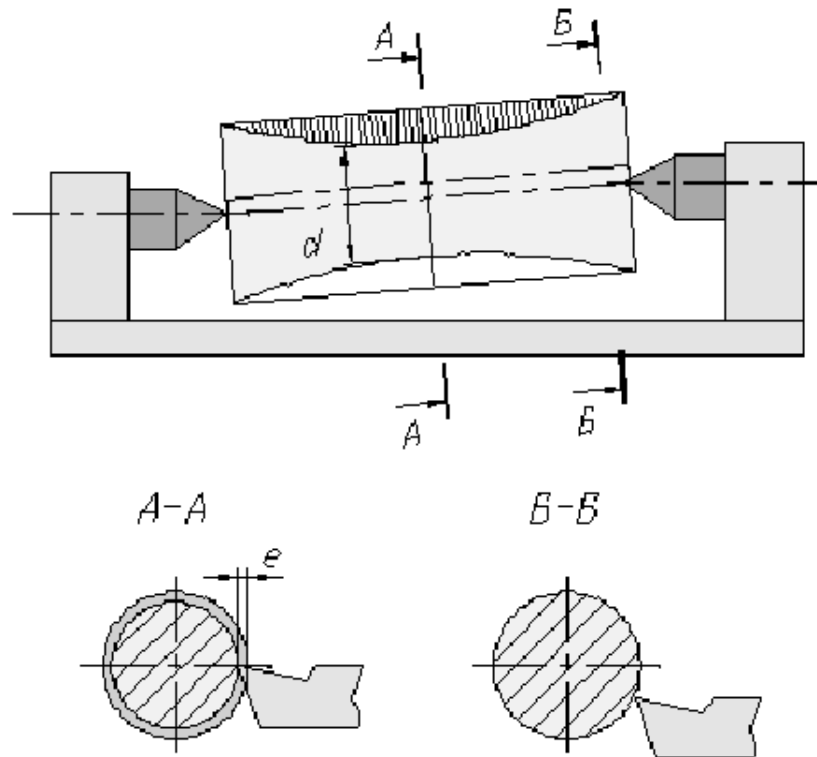


Рисунок 3.9 Схемы формирования погрешности от неточности изготовления элементов станка.

Эти отклонения приводят к искажению формы продольного сечения обрабатываемой детали (формируется гиперboloид вращения).

Отклонение от цилиндричности определится как:

$$\Delta_{\text{цпл}} = 2\Delta_{\text{п}} \frac{L_{\text{д}}}{L},$$

$\Delta_{\text{п}}$ - допускаемая величина отклонения от параллельности направляющих и оси шпинделя (принимается по паспорту станка или справочным данным),

L - длина направляющих;

$L_{\text{Д}}$ - длина обрабатываемой поверхности детали.

Радиальное биение шпинделя токарного станка приводит к искажению формы обработанной заготовки в поперечном сечении.

Могут иметь место и другие погрешности пространственных отклонений обрабатываемых заготовок из-за биений патрона, центров и другие. Поэтому в каждом конкретном случае следует анализировать схему взаимодействия заготовки и механизмов станка.

3.5.Погрешности от влияния вибраций и других факторов.

При выполнении технологических операций механической обработки в технологической системе неизбежно возникают нелинейные колебания и вибрации. Их основными характеристиками являются: амплитуда, частота и фаза колебаний.

Основными причинами (особенно на черновых операциях) принято считать неравномерность припуска, колебания твердости обрабатываемого материала и другие факторы.

В практических расчетах их влияние учитывается с помощью *коэффициентов динамичности*:

$K_{\text{д}}=1,2-1,4$ –черновые операции;

$K_{\text{д}}=1,0-1,2$ –чистовые операции.

Погрешности от влияния сил зажима учитывают только при обработке тонкостенных и маложестких деталей.

Погрешности от теоретической схемы обработки возникают в результате применения приближенной схемы обработки вместо теоретически точной, либо инструмента с приближенным профилем.

Применение методов, основанных на приближенной схеме обработки, может быть оправдано в тех случаях, когда сумма теоретических и производственных ошибок не превышает допуска, проставленного на чертеже, а замена точной схемы обработки приближенной позволяет упростить и удешевить процесс обработки.



Рисунок 3.10 Примеры образования погрешностей от теоретической схемы обработки

3.6. Расчет суммарной погрешности обработки.

В общем случае наиболее значимыми погрешностями, возникающими в процессе механической обработки являются:

Δ_y - погрешности, вызываемые упругими деформациями технологической системы под влиянием силы резания, *мкм*;

Δ_n - погрешности, возникающие из-за неточной настройки станка, *мкм*;

Δ_u - погрешности, вызываемые размерным износом режущего инструмента, *мкм*;

Δ_T - погрешность обработки, вызываемая температурными деформациями технологической системы, *мкм*.

Δ_{ct} - погрешности, возникающие вследствие геометрических неточностей станка, *мкм*.

При обработке на станке ЧПУ дополнительно возникают погрешности позиционирования элементов системы и отработки программ управления.

Расчет точности (определение суммарной погрешности обработки) целесообразен в основном для операций чистовой стадии обработки, т.е. при 6...11 квалитете точности.

Тогда суммарная погрешность обработки:

- для диаметральных размеров

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2 + \varepsilon_y^2} + \Delta_{\phi};$$

- для линейных размеров

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2 + \varepsilon_y^2} + \Delta_{\phi},$$

где ε_y - погрешности установки заготовки, $\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_3^2} + \varepsilon_{nz}$;

Δ_u - износ инструмента;

Δ_y - упругие деформации;

Δ_{ϕ} - погрешности формы детали (например кривизна) с предыдущей операции.

После определения суммарной погрешности проверяется возможность обработки без брака, для чего полученные значения сравнивают с допуском по чертежу.

В случае невозможности достижения требуемой точности - необходимо предложить конкретные мероприятия по снижению первичных погрешностей.

3.7.Методы настройки станков.

Для выполнения технологической операции необходимо провести предварительную наладку (настройку) оборудования.

Наладкой называется процесс подготовки технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению определенной технологической операции.

Наладка обеспечивает точность относительного движения инструмента и заготовки. В результате настройки режущий инструмент и заготовка должны занять требуемое исходное положение и воспроизводить заданный закон относительного движения.

Исходное положение режущего инструмента и заготовки обеспечивается настройкой размерных цепей, а закон относительного движения с помощью настройки кинематических цепей технологической системы

В результате воздействия на технологическую систему различных факторов фактическая траектория движения и положение режущего инструмента будут отличаться от заданных. Эти нарушения устраняются при динамической настройке.

В настоящее время применяются *статическая* и *динамическая* настройки оборудования.

3.7.1.Статическая настройка.

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 $\Delta_{\text{попр}}$.

Расчетный настроенный размер $L_{\text{н}}^{\text{расч}}$ установочного калибра определяется по формуле:

$$L_{\text{н}}^{\text{расч}} = L_{\text{н}}^{\text{заг}} \mp \Delta_{\text{попр}}$$

Здесь $L_{\text{н}}^{\text{заг}}$ - размер заготовки, который должен быть фактически получен после обработки, когда настройка станка ведется по середине поля допуска заготовки:

$$L_{\text{н}}^{\text{заг}} = \frac{(L_{\text{min}} + L_{\text{max}})}{2},$$

где L_{min} и L_{max} - соответственно наименьший и наибольший предельные размерные заготовок по чертежу);

$\Delta_{\text{попр}}$ - поправка, учитывающая упругие деформации технологической системы и шероховатость поверхности эталонной детали, по которой производится настройка.

$$\Delta_{\text{попр}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ - составляющие поправки, учитывающие соответственно действие сил резания, шероховатость обрабатываемых заготовок и величину зазора в подшипниках шпинделя.

В формуле знак минус принимается для случая обработки вала, а знак плюс - для отверстия.

При односторонней обработке

$$\Delta_1 = \frac{P_y}{j}$$

При двусторонней обработке (обработке цилиндрических поверхностей) значение Δ_1 , найденное по формуле, следует удвоить:

$$\Delta_1 = 2 \frac{P_y}{j}$$

В связи с тем, что установка резца по калибру осуществляется соприкосновением его вершины с точной поверхностью калибра и при обработке заготовки положение вершины резца определяет положение впадин неровностей, измеренный размер оказывается больше размера калибра на величину

$$\Delta_2 = R_z$$

где R_z - высота микронеровностей, мкм.

При двусторонней обработке значение Δ_2 также удваивается

$$\Delta_2 = 2 R_z$$

При односторонней обработке поправка Δ_3 равна половине диаметрального зазора (принимается, что шпиндель, нагружаемый усилием резания, смещается в горизонтальном направлении от рабочего на половину диаметрального зазора) и зависит от типа и марки станка.

При двусторонней обработке эта величина удваивается.

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

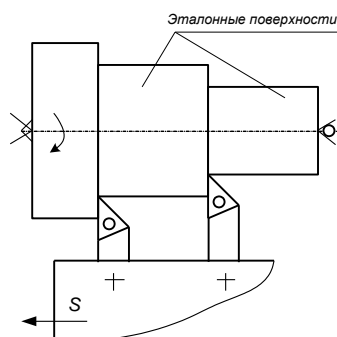


Рисунок 3.11 Схема многоинструментальной статической настройки.

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.

Значительное сокращение трудоемкости настройки при установке инструментов по эталонам, особенно при многорезцовой 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.

Этот способ настройки часто применяют при многоинструментальной обработке и он является основным методом для ОЦ (обрабатывающих центров) и других станков с ЧПУ.

3.7.2. Динамическая настройка.

Сущность динамической настройки заключается в отыскании и обеспечении величины смещения центра группирования (математического ожидания) Δ_n , относительно координаты середины поля допуска обрабатываемой детали по чертежу Td . Если Td совпадает с полем рассеивания

деталей в обрабатываемой партии, т.е. с ω , тогда основной задачей динамической настройки является $\Delta_n = \min$.

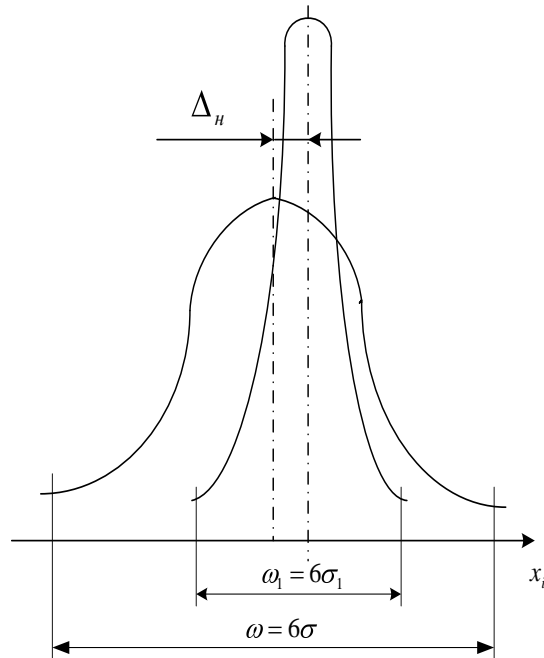


Рисунок 3.12 Схема динамической настройки.

Для этого выбирают некоторое количество пробных деталей $m = 2 - 8$ и строят для них теоретическую кривую распределения с полем рассеивания $\omega_1 = 6\sigma_1$.

Общая погрешность настройки определяется как

$$\Delta_n = 1,2 \cdot \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_{см}^2} \text{ - для плоских поверхностей,}$$

$$\Delta_n = 1,2 \cdot \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \left[\frac{\Delta_{изм}}{2} \right]^2 + \Delta_{см}^2} \text{ - для поверхностей вращения,}$$

где, $\Delta_{рег}$ - погрешность регулирования инструмента,

$\Delta_{изм}$ - погрешность измерений,

$\Delta_{см}$ - смещение центра группирования после обработки пробных деталей.

В общем случае, динамические методы настройки могут быть реализованы:

- по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра,

- по пробным заготовкам с помощью универсального измерительного инструмента.

Их применение дает максимальную точность их всех известных методов.

3.7.3. Диаграммы точности обработки

Для обеспечения требуемой точности обработки партии заготовок недостаточно правильно рассчитать и осуществить настройку станка.

В общем случае настройка на требуемый размер по чертежу должна производиться на середину его поля допуска. Если технологический процесс достаточно стабилен, тогда изменение настроечного размера связано прежде всего влиянием размерного износа инструмента Δ_u и его тепловых деформаций Δ_m . Первые обуславливают постепенное увеличение размеров в обрабатываемой партии, а вторые – уменьшают получаемые размеры.

Поэтому для предотвращения появления брака необходимо своевременно установить момент требуемой поднастройки станка и продолжительность работы между поднастройками.

Подналадкой (поднастройкой) станка называется процесс восстановления первоначальной точности взаимного расположения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки (детали). Рассмотрим два случая соотношений между размерным износом Δ_u и тепловыми деформациями Δ_m .

Если Δ_u больше Δ_m (рисунок «А»), тогда настройку станка целесообразнее выполнять не на середину поля допуска Td , а ближе его нижней границе EI .

Во втором случае, когда Δ_m больше Δ_u (тепловые деформации преобладают над размерным износом), настройку следует выполнять ближе к верхней границе поля допуска по чертежу ES . Так как тепловые деформации носят временный характер, то более предпочтительной является схема «А».

Поэтому момент поднастройки следует выявлять систематическими замерами.

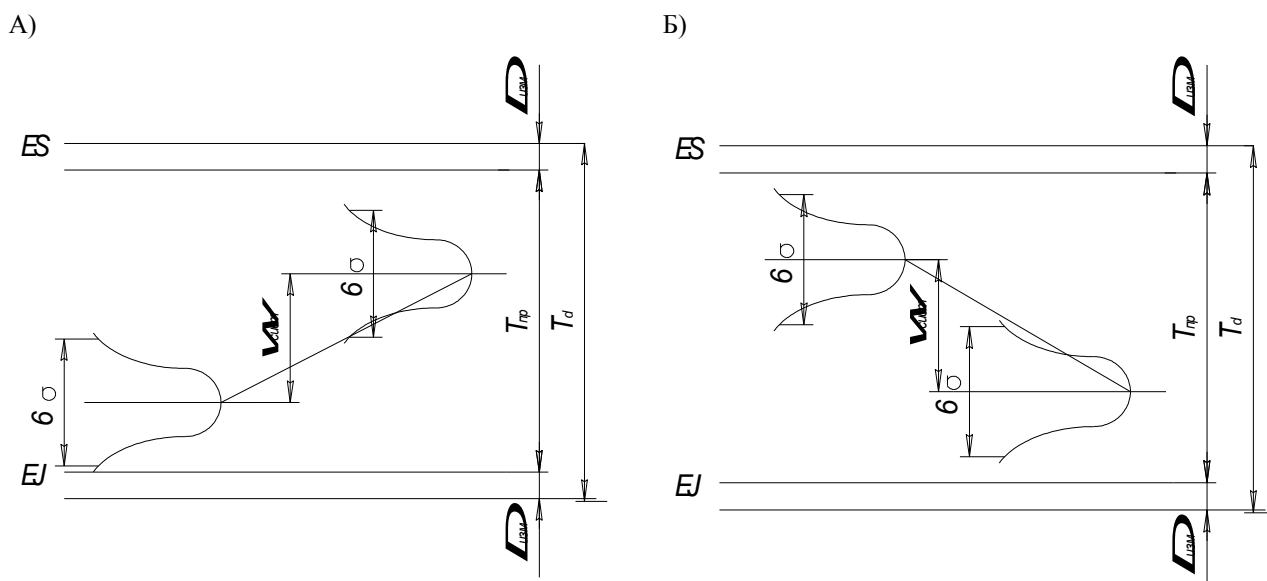


Рисунок 3.14 Диаграммы точности.

Определенное влияние на поле рассеяния ω размеров заготовок оказывают параметры заготовок: припуск и твердость материала (случайные факторы), колебания которых приводят к колебаниям усилий резания, а, следовательно, и упругих деформаций элементов технологической системы, что приводит к возрастанию рассеяния размеров. Кроме того, допуск по чертежу T_d отличается от так называемого производственного допуска $T_{дпр}$ на величину погрешности измерений:

$$T_d = T_{дпр} + 2\Delta_{изм}.$$

Уменьшить рассеяние размеров можно путем предварительного измерения параметров заготовки и внесением корректив в размер статической настройки станка. Однако этот метод уменьшения рассеяния размеров трудоемок и сложен в организационном отношении.

Таким образом, для обеспечения возможности получения размеров в пределах заданного поля допуска в течение как можно большего промежутка времени необходимо выбирать предварительный настроечный размер несколько отличный от координаты середины поля допуска. Это позволит повысить продолжительность времени работы станка между подналадками и повысить эффективность производства в целом.

4. СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВА СБОРКИ

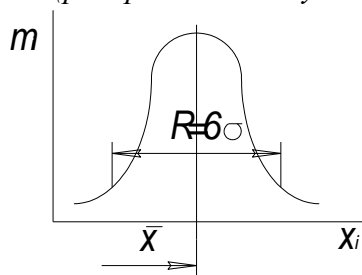
Все первичные погрешности, возникающие при механической обработке на станках можно представить как *случайные* и *систематические*.

Систематические погрешности (упругие отжатия, тепловые деформации, размерный износ и другие) возможно прогнозировать по соответствующим аналитическим и эмпирическим зависимостям.

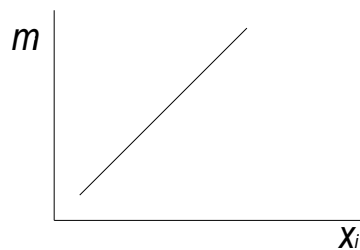
Случайные погрешности (неравномерность снимаемого припуска, разброс по твердости материала обрабатываемой партии и другие) возможно учитывать лишь на основе методов теории вероятности и математической статистики.

В технологии машиностроения нашли применение следующие законы распределения, учитывающие возникающие погрешности:

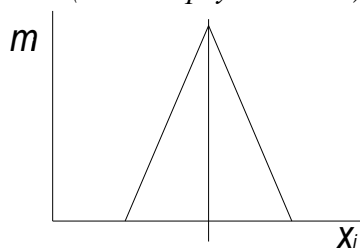
Закон нормального распределения
(распределение Гаусса);



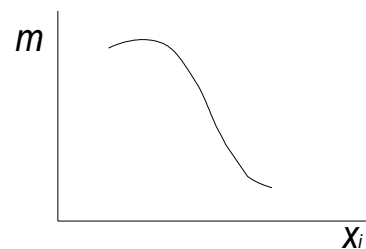
Закон равномерного возрастания,



Закон распределения Симпсона
(закон треугольника);



Закон эксцентриситета



Закон равной вероятности

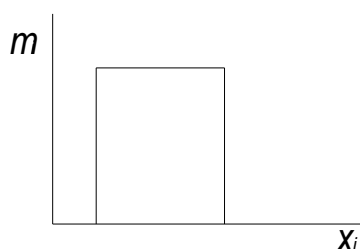


Рисунок 4.1. Примеры основных законов распределения

В практике может наблюдаться также и композиция (сочетание) различных законов распределения. Но чаще всего имеет место нормальный закон распределения.

4.1. Точечные и точностные диаграммы.

Если технологический процесс или операция являются достаточно *стабильными* и, влияние всех первичных погрешностей имеет *примерно один порядок* - для учета и анализа наилучшим образом подходит *нормальный закон* распределения (закон Гаусса), описывающий поведения различных случайных величин, к которым в совокупности может быть отнесен в том числе и размер детали после механической обработки.

Наиболее простым подходом к оценке точности обработки является подход основанный на использовании *точечных* или *точностных* диаграмм.

В этом случае, по оси абсцисс показывают № измерения (или № измеренной детали), а по оси ординат - значение контролируемого параметра (фактический размер соответствующей детали); также показывают верхнюю ES и нижнюю EI границы поля допуска.

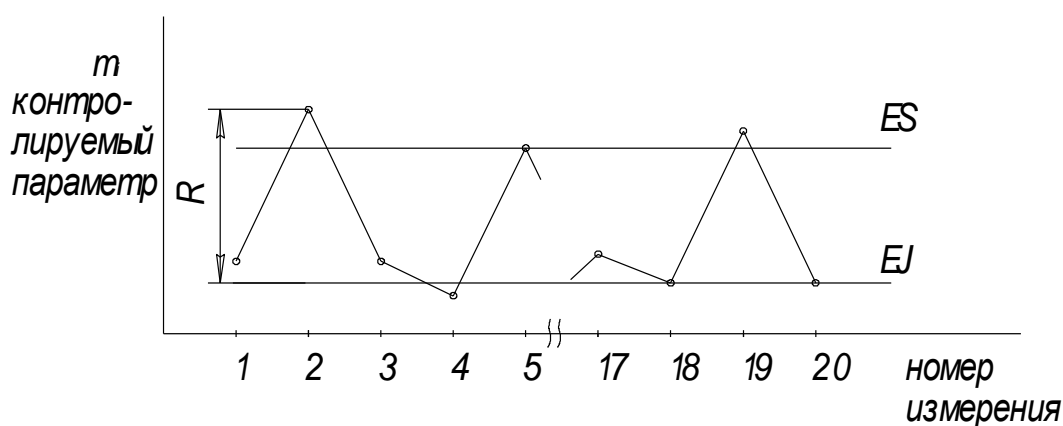


Рисунок 4.2. Точечная диаграмма

В том случае, если на одном графике приведены несколько точечных диаграмм, тогда ее называют *точностной*, так как она периодически (через определенные интервалы времени) дает информацию о фактической точности. Величина объема выборки для точечных диаграмм - не превышает 20 измерений (обычно до 7-10).

4.2.Закон Гаусса.

При анализе технологических процессов по точности изготовления деталей допуск по чертежу Td сравнивается с полем рассеяния ω . Величина же поля рассеивания зависит от вида закона распределения.

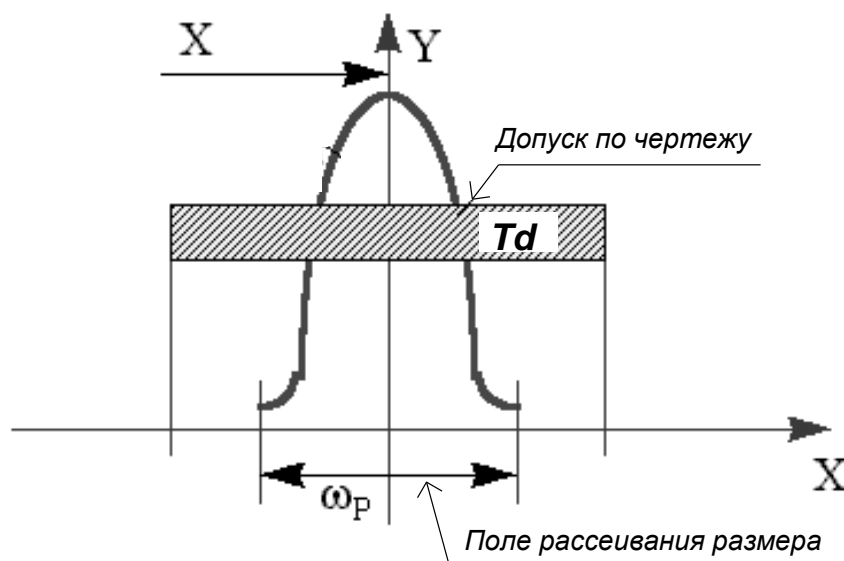


Рисунок 4.3 Схема нормального распределения и поле допуска на выдерживаемый размер

Законы распределения характеризуют *плотностью распределения вероятностей* $Z(t)$ и параметрами распределения: *средним значением* \bar{X} и *среднеквадратическим отклонением*, обозначаемым через S (или σ).

Плотность вероятностей для нормального распределения описывается уравнением Лапласа:

$$Z(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}},$$

где $t = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$ - параметр распределения;
 X - переменная (случайная) величина;
 \bar{X} - среднеарифметическое отклонение (центр группирования);
 σ - среднеквадратичное отклонение случайной величины;

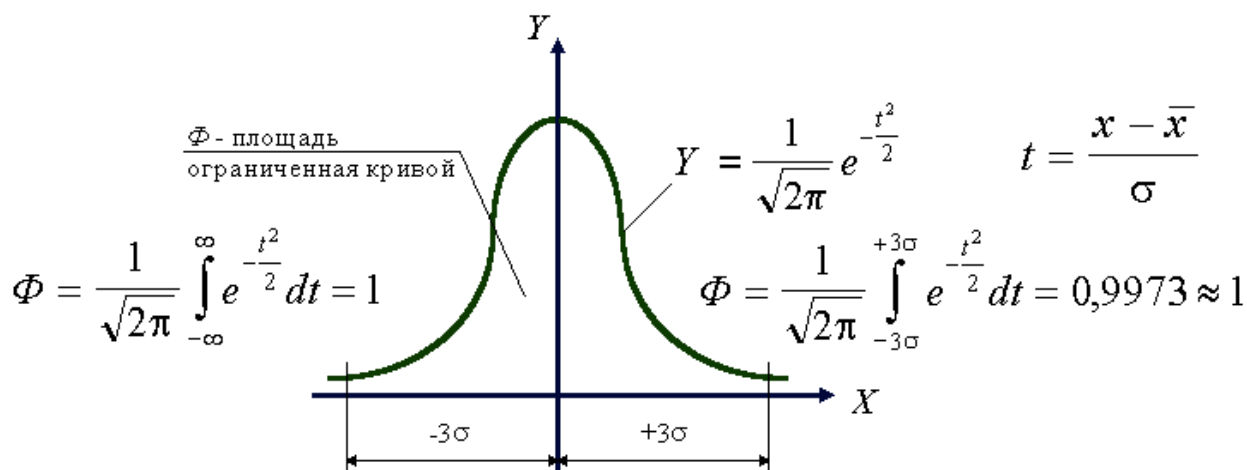


Рисунок 4.4 Параметры нормального закона распределения

Величину площади, ограниченной кривой нормального распределения и концами отрезка $\pm t$, можно определить по формуле:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

- интеграл (функция) Лапласа

Площадь, ограниченная кривой плотности распределения и осью абсцисс, равна:

$$\Phi(t = \infty) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 1$$

Кривая нормального распределения асимптотически приближается к оси абсцисс. Однако на расстоянии $\pm 3\sigma$ от вершины кривой ее ветви так близко подходят к оси абсцисс, что в этих пределах находится 99,73% площади, ограниченной кривой и осью абсцисс:

$$\Phi(t = 3\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-3\sigma}^{+3\sigma} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,9973$$

При практическом использовании нормального распределения считают, что вся площадь сосредоточена на расстоянии $\pm 3\sigma$. При этом допускается погрешность равная 0,27%.

Тогда поле рассеивания будет равно $\omega = 6\sigma$, то есть $\Phi(t = 3\sigma) \approx 1,0$ (или 100%).

4.3. Порядок построения теоретической кривой.

Статистический метод с применением закона Гаусса позволяет на основе выборки (например, $N=20-50$ штук и более) прогнозировать точность обработки всей обрабатываемой партии деталей.

Графическая иллюстрация закона нормального распределения (закона Гаусса) представлено выше, а его математическое выражение характеризуется зависимостью

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(xi-\bar{x})^2}{2\sigma^2}};$$

где $\Phi(x)$ - плотность вероятности

x - переменная (случайная) величина;

\bar{x} - среднеарифметическое отклонение (центр группирования);

σ - среднеквадратичное отклонение случайной величины x_i от x ;

e - основание натурального логарифма;

Положение кривой относительно начала координат и ее форма определяются в основном двумя параметрами x и σ , которые являются первыми из пяти статистических характеристик.

Среднее арифметическое

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N_d} x_i}{N_e}$$

среднее-квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_g} (x_i - \bar{x})^2 \cdot \frac{1}{N_g}}$$

коэффициент вариации, характеризующий нестабильность исследуемого технологического процесса.

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

коэффициент относительной асимметрии, характеризующий тенденцию к смещению центра группирования влево ($\alpha < 0$) или вправо ($\alpha > 0$),

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_g} \left(x_i - \bar{x} \right)^3}{N_g \cdot \sigma^3}}$$

коэффициент эксцесса, характеризующий тенденцию кривой распределения к смещению вверх ($\tau > 0$) или вниз ($\tau < 0$) вдоль оси ординат

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \left(x_i - \bar{x} \right)^4}{N_g \cdot \sigma^4} - 3.$$

При анализе технологических процессов (ТП) или отдельных операций, указанные характеристики по данным выборки ($N_b=20...50$) принимают за истинные характеристики всей партии обрабатываемых заготовок или собираемых изделий (узлов). Если же одна из первичных погрешностей преобладает над остальными (удельный вес ее значительно больше остальных), тогда будет иметь место другой закон распределения случайных величин.

Порядок расчета следующий.

На основе выборки (N_g) из всей партии обрабатываемых заготовок (например, $N_g = 20$ шт. $x_1 = 8,02; 8,03; \dots; 8,14$) определяется диапазон рассеивания (размах).

$$R = X_{max} - X_{min},$$

$$R = 8,14 - 8,02 = 0,12$$

который разбивается на кассы (интервалы), а их число определяется по правилу Штюргерса

$$K = 1 + 3,32 \ln (N_g) \quad (\text{принимается } K = 6...10).$$

Размер одного интервала

$$C = R/K,$$

$$C = 0,12/6 = 0,02. (19)$$

В таблицу заносятся параметры интервалов, абсолютная частота (mi) появления контролируемого параметра в каждом из них и другие сведения.

Таблица значений распределения

<i>Интервалы размеров от и до (включительно)</i>	<i>Середина интервала, X_c</i>	<i>Абсолютная частота, mi</i>	<i>Относительная частота, $pi=mi/N_v$</i>
8,02 ... 8,04	8,03	1	0,05
8,04 ... 8,06	8,05	4	0,2
8,06 ... 8,08	8,07	7	0,35
8,08 ... 8,10	8,09	5	0,25
8,10 ... 8,12	8,11	2	0,1
8,12 ... 8,14	8,13	1	0,05

Данные таблицы представляются в виде гистограммы или фактического распределения, а затем определяются основные статистические характеристики нормального закона распределения.

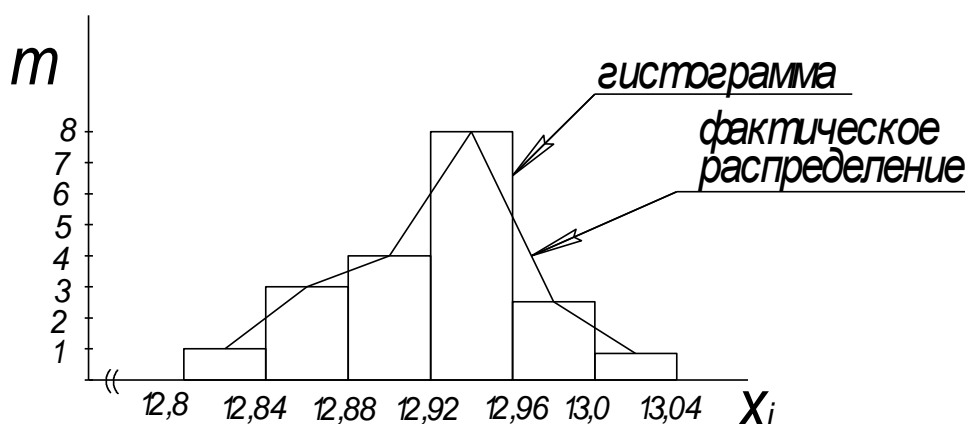


Рисунок 4.5 Гистограмма и фактическая кривая распределения

Для построения теоретической кривой распределения необходимо выделить «точки перегиба»:

максимальную ординату

$$Y_{\max} = 1 / \sigma \sqrt{2\pi} \approx 0,4 / \sigma ,$$

ординаты точек перегиба при $X=+2\sigma$ и $X=-2\sigma$

$$Y_{\sigma} = 1 / \sigma \sqrt{2\pi} e \approx 0,242 / \sigma ,$$

$$Y_{\sigma} = 1 / \sigma \sqrt{2\pi} e^2 \approx 0,054 / \sigma ,$$

а также *теоретическое поле рассеивания* при $y=0$

$$X = \pm 3\sigma$$

Для приведения теоретической кривой к масштабу графика зависимости следует умножить на масштабный коэффициент cN_v , и затем и вычертить ее, совместив на одном графике фактическую кривую с теоретической.

После построения графиков необходимо в масштабе нанести на них верхнюю (ES) и нижнюю (EJ) границы поля допуска, что позволяет визуально оценить возможный процент брака для всей исследуемой партии.

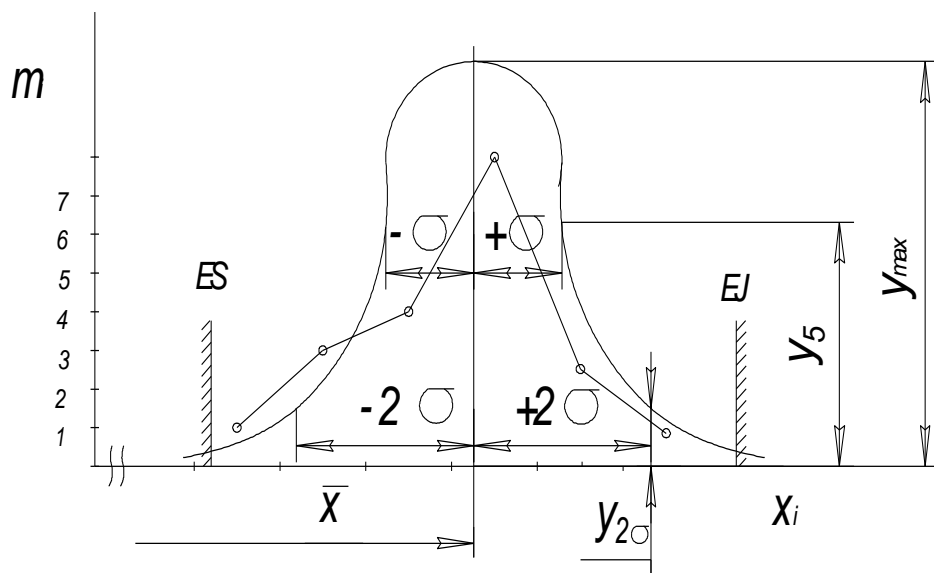


Рисунок 4.6 Теоретическая кривая распределения.

Далее необходимо выполнить проверку гипотезы о нормальности распределения, например, вычислением *среднего абсолютного отклонения* (CAO).

$$CAO = X_{крит.} - \bar{x}/N_v,$$

где $X_{крит.}$ - критическое (вызывающее сомнение) значение случайной величины X_i . В практических расчетах обычно ограничиваются проверкой максимального и минимального значений из выборки.

Условие нормального распределения

$$|CAO/\sigma - 0,7979| < 0,4/\sqrt{N_e} \text{ в}$$

В этом случае, если условие нормальности не выполняется, следует исключить из выборки $X_{крит.}$ и вновь произвести расчеты всех статистических характеристик \bar{X} , σ , α , τ . Если и после второй проверки распределение не соответствует нормальному закону, необходимо дальнейшие расчеты прекратить.

Если условие нормальности подтверждается, необходимо перейти к вычислению процента возможного брака, если нет - ограничиться построением гистограммы.

4.4. Свойства нормального закона распределения.

Вероятность соблюдения заданного допуска определяется как отношение площади заключенной между кривой распределения и ординатами (ES , EJ) ко всей площади под кривой распределения.

1. Коэффициент точности

$$K_m = \frac{Td}{6 \cdot \sigma}$$

Td - допуск на контролируемый размер или параметр.

Если $K_m \geq 1$, тогда заданная точность (например по чертежу – обеспечивается, так как поле рассеивания случайных величин (например, размеров обрабатываемых деталей) не выходит за пределы регламентированных параметров.

2. Смещение центра группирования (систематическая погрешность) относительно середины поля допуска (Δ_H)

$$\Delta_H = \bar{X} - D + \frac{ES + EJ}{2}$$

где D - номинальное значение контролируемого параметра (например, номинальный размер по чертежу);

ES, EJ - соответственно верхняя и нижняя границы поля допуска.

3. Определение процента % ожидаемого брака.

Вероятность брака по верхнему P_{es} и нижнему P_{ei} пределам

$$P_{es} = [0,5 - \Phi(Z_{es})] \cdot 100\%$$

$$P_{ei} = [0,5 - \Phi(Z_{ei})] \cdot 100\%$$

Для определения табулированных функций Лапласа $\Phi(Z_{es})$ и $\Phi(Z_{ei})$ необходимо вычислить значения *аргументов*.

Значения аргументов Z_{es}, Z_{ei} для определения вероятности брака по верхнему ES и нижнему EJ пределам:

$$Z_{es} = \frac{D + ES - \bar{X}}{\sigma},$$

$$Z_{ei} = \frac{D + EJ - \bar{X}}{\sigma}.$$

Затем по таблицам табулированных функций Лапласа находят значения самих функций $\Phi(Z_{es})$ и $\Phi(Z_{ei})$, необходимых для подсчета ожидаемого брака.

В общем случае, применение статистического метода позволяет по данным выборки *прогнозировать точность* всей обрабатываемой партии деталей, что способствует предсказуемости действующих и вновь проектируемых технологических процессов.

5.ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ/

5.1.Информация, необходимая для проектирования ТП

Различают два основных вида ТП: *единичный* и *унифицированный* (типовой или групповой).

Каждый из них разрабатывается после того, как конструкции отработаны на технологичность в соответствии с ГОСТ 14.301 - 83.

ТП разрабатывается: либо *для нового изделия*, либо в целях усовершенствования уже выпускаемого (например, в случае замены оборудования или изменении программы выпуска).

В основе проектирования ТП всегда лежат два принципа:

- 1) *технический* - обуславливающий безусловное выполнение всех требований рабочего чертежа и ТУ;
- 2) *экономический* - обуславливающий изготовление изделий с минимальными возможными затратами и издержками производства.

Разрабатываемый ТП должен предусматривать: повышение производительности труда и (или) качества изделий.

Исходные данные, необходимые для проектирования ТП:

- 1.Рабочий чертеж детали, определяющий материал, конструктивные формы и размеры детали.
- 2.Производственная программа. Сведения об объеме выпуска деталей (за год, за квартал).
- 3.Технические условия на изготовление детали, дополнительные данные, характеризующие точность и качество обработанных поверхностей.

Дополнительные данные:

Руководящие материалы по разработке технологического процесса (ЕСТД): *общемашиностроительные* нормативы режимов резания для *технического* нормирования работ на металлорежущих станках, *общемашиностроительные* нормативы вспомогательного времени и подготовительно-заключительного при работе на металлорежущих станках, ГОСТы и нормали на режущий и мерительный инструмент, каталоги и паспорта оборудования и другие сведения.

5.2.Последовательность проектирования единичного ТП механической обработки

А) Стадия проектирования маршрутной технологии

- 1.Анализ исходных данных и технологичности.
- 2.Расчет типа производства и выбор организационной формы выполнения ТП
- 3.Выбор метода получения исходных заготовок.
- 4.Выбор технологических баз и составление планов обработки отдельных поверхностей.
- 5.Составление предварительного маршрута обработки (на основе типового ТП или базового варианта); определение предварительного состава и последовательности операций, а также оборудования и тех. оснастки.

Б) Стадия проектирования операций

- 6.Проектирование структуры и содержания каждой операции.
- 7.Расчеты припусков и межоперационных размеров.
- 8.Расчеты режимов резания и норм времени.
- 9.Разработка планировок оборудования и средств автоматизации.
- 10.Технико-экономическое обоснование ТП.
- 11.Оформление необходимой ТД.

5.3.Отработка конструкции на технологичность

Технологичным называется изделие, отвечающее современному уровню развития техники и технологии, а также требованиям экономичности и удобству эксплуатации. При этом, с позиций изготовления и сборки должны быть использованы наиболее экономичные и производительные методы, которые одновременно не нарушают требуемых показателей качества и точности.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ - трудоемкость, себестоимость, материалоемкость.

Дополнительными показателями является - степень унификации и стандартизации, взаимозаменяемость элементов конструкции и т.д.

Показатели технологичности (всего 11 шт.) и другие необходимые сведения приведены в ГОСТ 14.201-83.

Технологичность конструкции одного и того же изделия может быть различной для разных заводов и даже цехов в пределах одного предприятия, так как последние имеют различные производственные возможности (например, парк станков и технологической оснастки, а также другие специфические показатели).

Поэтому, *ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ* следует рассматривать *во взаимосвязи всех этапов изготовления изделий*: проектирование, подготовка производства, изготовление, сборка и контроль.

Технологическим контролем называется инженерная проверка конструкторской документации на соответствие *требованиям технологичности*.

Взаимная увязка и согласование конструкторской и технологической документации необходимы и обязательны, так как *конструкторская документация* не регламентирует методы и способы изготовления. Это задача технологов.

Содержание конструкторской документации, в значительной степени обуславливает выбор и применение методов обработки, оборудования и т.д.

Разработчик должен учитывать технологические требования в конструкторской документации на всех стадиях проектирования изделия, т.е. до начала разработки ТП. Проверка учета конструктором этих требований в полном объеме и составляет главную задачу технологического контроля.

Сущность технологического контроля на всех этапах разработки рабочей КД сводится к сравнению (сопоставлению) контролируемого конструкторского решения с решением, принятым за эталон.

При технологическом контроле чертежей необходимо стремиться к следующему:

1) уменьшать размеры обрабатываемых поверхностей, что снижает трудоемкость изготовления; применять многоинструментальную обработку, многолезвийные инструменты и повышенные режимы резания;

3) обеспечить удобный подвод и отвод режущих инструментов для уменьшения вспомогательного времени;

4) унифицировать или свести к минимуму типоразмеры пазов, канавок, переходных поверхностей (например, галтелей, фасок на цилиндрических поверхностях) и отверстий для сокращения номенклатуры режущих инструментов;

5) обеспечить надежное и удобное базирование заготовки с возможностью совмещения технологических и измерительных баз.

Выполнение этих и многих других требований по обеспечению технологичности детали должен проверить технолог при технологическом контроле конструкторской документации.

В результате улучшения технологичности конструкции может быть получено снижение себестоимости и трудоемкости выполнения процессов механообработки.

В общем случае, анализ детали на технологичность проводится в следующем порядке:

1. Проверить достаточность проекций, правильность постановки размеров.

2. Определить технологическую увязку размеров, оговоренных допусками, и шероховатостью, чтобы не допустить применения дополнительных технологических операций для получения высокой точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей.

3. Проанализировать возможность выбора рационального метода получения заготовки и ее конфигурации, допускающего возможность использования в конструкции детали необработанных поверхностей и минимальных припусков на обработку, что позволит уменьшить количество операций, переходов и используемого оборудования.

4.Определить, насколько правильно проставлены размеры, обеспечивающие возможность совмещения технологических и измерительных баз.

5.Установить возможность применения многоинструментальной обработки, применения многолезвийных инструментов и высокопроизводительных режимов резания, а также удобство осуществления многоместной обработки заготовок.

Примечание: При анализе технологичности желательно производить ее оценку как с точки зрения изделия в целом, так и с точки зрения например механической обработки.

А) для изделия в целом целесообразно, чтобы:

1.*Количество звеньев* (отдельных деталей) было наименьшим, так как в этом случае, как правило, снижается трудоемкость сборки.

2.*Исходные заготовки* были максимально приближены по форме и размерам к готовой детали, так как в этом случае уменьшается объем механообработки (например: литье под давлением, в кокиль, штамповка, ...).

3.Простановка размеров на чертежах должна быть выполнена с учетом особенностей механообработки и сборки (в зависимости от метода обеспечения точности, с учетом правил базирования и т.п.).

4.Конфигурация отдельных деталей должна быть максимально упрощена, поля допусков расширены и требования шероховатости максимально снижены (но без нарушения эксплуатационных характеристик изделия).

5.Конструкция деталей и изделия в целом должна быть такой, чтобы при ее механической обработке возможно было бы применять наиболее совершенные и производительные методы (например: обработку многолезвийным инструментом, фасонным, многолезвийным и т.д.).

6.Изделие или его составные части (в т.ч. детали) должны быть нормализованы и унифицированы это создает *предпосылки типизации*,

снижает потребность в режущем и мерительном инструменте, позволяет использовать *групповые методы* обработки и т.д.

7. Конструкция изделия должна удовлетворять принципам полной, неполной или групповой взаимозаменяемости (для снижения трудоемкости сборки).

Б) для стадии механической обработки целесообразно:

1. Сокращать объем механообработки, уменьшать протяженность обрабатываемых поверхностей (например, за счет использования двух резцов при обработке одной поверхности), а *жесткие* допуски назначать только на сопрягаемые поверхности.

2. Повышать точность исходных заготовок, и подбирать материалы с лучшей обрабатываемостью.

3. Предусматривать возможность быстрого, удобного и надежного базирования и закрепления, повышать жесткость технологической системы при обработке.

4. Предусматривать возможность удобного подвода инструмента, использовать многоместную обработку.

5. Использовать удобные базирующие поверхности.

Примечания:

Ступенчатые поверхности должны иметь (по возможности) минимальный перепад диаметров, не рекомендуется выполнять кольцевые канавки на торцах и выступы, не вписывающиеся в контур поперечного сечения детали.

Рекомендуется на переходах поверхностей предусматривать фаски, а в местах сопряжения точных поверхностей - канавки для выхода инструмента.

Отверстия – желательно выполнять сквозными. Конфигурация же глухих отверстий должна быть увязана с конструкцией применяемого инструмента.

В корпусных деталях ось отверстия желательно располагать с учётом галтели между стенкой и плоскостью (или с учётом шайбы для крепёжных отверстий).

Расстояния между отверстиями назначаться с учётом применения многошпиндельного инструмента, ось отверстия должна быть перпендикулярна к поверхностям на входе и выходе сверла.

Для одновременной обработки нескольких отверстий, расположенных на одной оси, но в разных стенках, рекомендуется последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предшествующего перехода.

Следует избегать отверстий расположенных неперпендикулярно, с непараллельными осями, пересекающихся с внутренними полостями.

4.Порядок определения типа производства

В соответствии с ГОСТ 14.004-83 *тип производства* определяется исходя из программного задания, сроков его выполнения и средней трудоемкости основных технологических операций.

Тип производства необходимо определять по коэффициенту закрепления операций, который показывает отношение всех различных операций, выполняемых подразделением в течение месяца на данном оборудовании к числу рабочих мест.

$$K_{з.о.} = \frac{P_o}{P_{я}}$$

P_о - суммарное число различных операций;

P_я - явочное число рабочих подразделения, выполняющих различные операции.

Если $K_{з.о.} \leq 1$ - массовое производство;

$1 \leq K_{з.о.} \leq 10$ - крупносерийное производство;

$10 \leq K_{з.о.} \leq 20$ - среднесерийное производство;

$20 \leq K_{з.о.} \leq 40$ - мелкосерийное производство;

$Kз.о. > 40$ - единичное производство.

Порядок расчета (рекомендуемый).

1) Уточнение исходных данных для расчёта:

$N_в$ - годовая программа выпуска изделий (предварительно заданная);

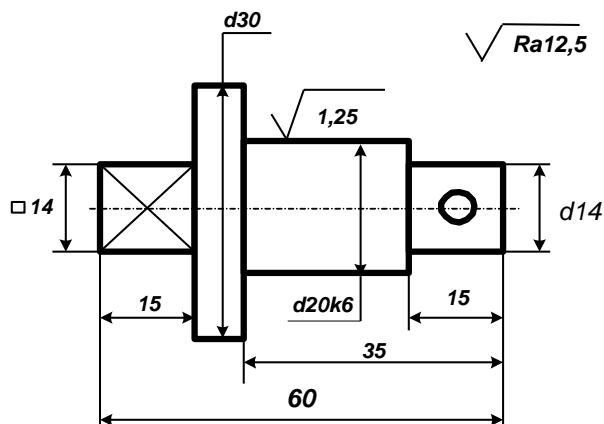
m - количество деталей данного наименования на одно изделие (необходимо знать и массу детали).

2) Скорректированная годовая программа:

$$N = N_в \cdot m \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right)$$

β - коэффициент учёта брака и запаса на складе (принимать 2-8 %).

3) Определение состава основных операций (ориентировочно).



Например:

- 1.Токарно-винторезная операция;
- 2.Вертикально-фрезерная операция;
- 3.Вертикально-сверлильная операция

4) Определение $T_{шт}$ (укрупнённым нормированием) по каждой из основных операций.

Укрупненное нормирование основных операций необходимо для установления основного и штучно-калькуляционного времени:

1.Токарно-винторезная операция:

Черновая подрезка двух торцов $T_o \approx 0,74$ мин ;

черновое точение (7 проходов) $T_o = 0,78 \times 7 \approx 5,46$ мин ;

чистовое точение ступеней $T_o = 0,68 \times 4 \approx 2,72$ мин ;

чистовая подрезка торцов $T_o = 0,74$ мин ;

$\Sigma T_o = 0,74 + 5,46 + 2,72 + 0,74 \approx 9,66$ мин.

Штучно-калькуляционное время (суммарное): $\Sigma T_{шт} = 12,56 \text{ мин.}$

2. Вертикально-фрезерная операция;

Фрезерование квадрата и паза $T_o = 2,77 \times 4 \approx 11,08 \text{ мин.}$; $T_{шт} = 14,68 \text{ мин.}$

3. Вертикально-сверлильная операция:

Сверление 4 отверстий $T_o = 1,27 \times 4 = 5,08 \text{ мин.}$; $T_{шт} = 6,6 \text{ мин.}$

5) Расчетное число (количество) станков для выполнения каждой из основных операций:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шти}}{60 \cdot F_{др} \cdot \eta_{зн}};$$

где $T_{шти}$ – штучное время обработки детали на данной операции, мин;

$F_{др}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования,

$F_{др} \approx 2000 \text{ ч.}$

$\eta_{зн}$ – нормативный коэффициент загрузки оборудования ($\eta_{зн} = 0,8$).

	1 смена	2 смены
МРС 1-30 категорий ремонтной сложности	2030	4015
Свыше 30 категории ремонтной сложности	3904	
Автоматизированные линии	1870	3738
Поточные линии	1990	3987
Рабочие места без оборудования (верстаки)	2080	4154

$\eta_{з.н.}$ – нормативный коэффициент загрузки оборудования (зависит от типа производства) – (предварительно принимают 0,75 - 0,8).

б) Дробное количество станков округляют до большего (заносят в таблицу) и затем определяют фактический коэффициент загрузки оборудования:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P},$$

P – принятое число рабочих мест.

7) Расчётные данные заносят в таблицу:

№ п/п	Наименование операции	$T_{шт.},$ мин	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	Q
1	Токарно-винторезная					
2	Вертикально-фрезерная					

3	Вертикально- сверлильная					
				$\sum P =$		$\sum Q =$

Нормативные коэффициенты загрузки оборудования [

$$\eta_{з.н.} = 0,8 \dots 0,9 \text{ (мелкосерийное производство)};$$

$$\eta_{з.н.} = 0,75 \dots 0,85 \text{ (серийное производство)};$$

$$\eta_{з.н.} = 0,65 \dots 0,75 \text{ (крупносерийное и массовое)}.$$

8) Если $\eta_{з.ф.}$ выше нормативного, то следует увеличить количество станков;

если $\eta_{з.ф.}$ ниже нормативного, тогда - анализируют возможность дозагрузки.

В графу «Q» записать скорректированное значение:

$$Q = \eta_{з.н.} / \eta_{з.ф.}$$

Отношение $\frac{\sum Q}{\sum P}$, взятое по таблице и есть *коэффициент закрепления операций*.

Далее принимается решение о форме организации ТП: *групповая или поточная*.

Целесообразность *поточного производства* устанавливают сравнением заданного суточного выпуска изделий и расчётной суточной производительности поточной линии при двухсменной работе и её загрузке не ниже 60%.

На этапе *предварительного анализа* исходных данных тип производства может быть *ориентировочно определен* с помощью таблиц.

Зависимость типа производства от объёма выпуска (*шт.*) и массы детали:

Таблица .

<i>Масса детали, кг</i>	<i>Тип производства</i>				
	<i>Единичн.</i>	<i>Мелкосер.</i>	<i>Среднесер.</i>	<i>Крупносер.</i>	<i>Массовый</i>
1,0	10	10-2000	1500-100000	75000-200000	Св.200000
1-2,5	10	10-1000	1000-50000	50000-100000	Св.100000
2,5-5	10	10-500	500-35000	35000-75000	Св.75000
5-10	10	10-300	300-25000	25000-50000	Св.50000
10	10	10-200	200-10000	10000-25000	Св.25000

Значения коэффициентов загрузки оборудования

Таблица

<i>Тип производства</i>	<i>Мех.обработка</i>	<i>Сборка</i>
Единичный	0,01	0,02
Мелкосерийный	0,06-0,01	0,06-0,02
Среднесерийный	0,2-0,06	0,3-0,07
Крупносерийный	0,8-0,2	0,85-0,3
массовое	0,85-0,96	0,90-0,98

Ориентировочная (годовая) программа выпуска деталей (шт.) при различных типах производства []

Таблица

<i>Макс .масса обраб .детали Кг</i>	<i>Среднемесячный выпуск изделий, шт.</i>				
	<i>Единичн.</i>	<i>Мелкосер.</i>	<i>Среднесер.</i>	<i>Крупносер.</i>	<i>Массовый</i>
До 200	До 1000	1000-5000	5000-10000	10000-100000	Св.100000
До 2000	До 20	20-500	500-1000	1000-5000	Св.5000
До 3000	До 5	5-100	100-300	300-1000	Св.1000
Св.3000	До 3	3-10	10-50	-	-

В серийном и массовом производстве возможно дополнительно установить такт τ_B или ритм R выпуска продукции.

Такт выпуска - интервал времени, через который периодически производится выпуск деталей (изделий) определенного наименования, типоразмера и исполнения.

$$\tau_B = \frac{F_o \cdot 60}{N_z}, \quad \text{мин/шт.}$$

где, F_o - действительный (годовой) фонд работы оборудования с учетом простоев (при односменной работе $\approx 2000 \text{ час}$),

N_z - годовая программа выпуска, шт.

Ритм выпуска - количество деталей (изделий) определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

$$R = \frac{1}{\tau_B} \quad \text{шт./мин}$$

В общем случае, при проектировании ТП желательно добиваться такого построения операций, чтобы их продолжительность была равна или кратна такту выпуска, так как в этом случае возможна поточная форма организации работ.

5.5.Выбор методов получения исходных заготовок

Критерии выбора *метода получения исходных заготовок* чаще всего определяются производственной программой:

При больших объемах выпуска – следует стремиться к максимальному приближению конфигурации и размеров исходной заготовки к размерам готовой детали (коэффициент использования металла);

При малых объемах выпуска – рациональным выбором следует считать минимальные затраты.

Основными факторами влияющими на выбор исходных заготовок являются также (кроме производственной программы):

1. Вид обрабатываемого материала,
2. Конфигурация и размеры; масса,
3. Условия эксплуатации,
4. Экономичность самого метода получения исходных заготовок.

Основные методы получения исходных заготовок:

В машиностроении основную массу заготовок изготавливают в литейных цехах заливкой металла в формы, в кузнечно-прессовых цехах - обработкой на ковочных и штамповочных молотах и прессах.

Главными факторами влияющими на выбор метода получения исходных заготовок являются себестоимость и годовая производственная программа..

Производство заготовок литьем

Масса отливок - до 300 т, а длина - до 20 м.

Наиболее распространенными материалами литейных форм являются: песчано-глинистые и песчано-смоляные смеси, сталь, чугун, сплавы, керамика и др.

Серый и высокопрочный чугун имеет высокую жидкотекучесть, что позволяет получить толщину стенки 3...4 мм. Ковкий чугун обладает склонностью к образованию трещин и значительных внутренних напряжений.

Легированные стали с увеличенным содержанием марганца имеют хорошую жидкотекучесть, что затрудняет получение отливок с тонкими стенками.

Литье в песчано-глинистые формы подразделяют на три группы:

- *Разовые*, изготавливаемые из песчано-глинистых смесей (для черных и цветных металлов любого размера и веса);
- *Полупостоянные* - из огнеупорных материалов (шамот, магнезит и др.) - для получения нескольких десятков отливок;
- *Постоянные*, изготавливаемые из металлов и сплавов.

Для отливок применяют чугун, сталь, сплавы меди, алюминий и др.

Литье в оболочковые формы - обеспечивает точность размеров 13... 14 качества и величину параметра шероховатости $R_a = 6,3 \text{ мкм}$.

Литейной формой является оболочка, состоящая из формовочных смесей с термопластичными и терморезактивными связующими смолами, которые помещают в ящик с песком или дробью перед заливкой ее металлом.

Требуется дорогостоящая оснастка, а сама форма используется один раз, поэтому данный метод целесообразен в массовом, крупносерийном и среднесерийном производстве, массой до 100 кг.

Литье в кокиль. Отливки (из чугуна и стали) с толщиной стенки 5 мм, 12-14 качества точности, шероховатость $Ra=12,5...3,2 \text{ мкм}$ и массой до 200 кг. Применяют в серийном и массовом производстве, выше производительность в 2-5 раз меньше себестоимость. К недостаткам литья относится невысокая стойкость форм при литье чугуна и стали, образование отбела чугунных отливок, что вызывает необходимость проведения дополнительной операции (отжига); возможно образование трещин в сложных отливках.

Кокили изготавливают литыми из чугуна, стали, меди и алюминия; разъемными или вытряхными. Распространены многоместные кокили.

Литье по выплавляемым моделям. - отливки из сплавов цветных металлов, стали и чугуна массой от нескольких грамм до 300 кг. Применяют в массовом,

крупно- и среднесерийном производстве при изготовлении мелких и сложной формы.

Сущность процесса литья по выплавляемым моделям заключается в использовании точной неразъемной разовой модели, по которой изготавливается неразъемная керамическая оболочковая форма, куда и заливается расплавленный металл после удаления модели из формы путем выжигания, испарения или растворения.

Этим способом можно изготавливать точные отливки из различных сплавов толщиной от 0,8 мм и более с небольшими припусками на обработку.

Точность размеров отливок соответствует 8-11 квалитетам, $Ra = 2,5$ мкм, припуски на обработку резанием для отливок размером до 50 мм составляют 1,4 мм, а размером до 500 мм — около 3,5 мм.

Коэффициент точности отливок по массе может достигать 0,85-0,95, что резко сокращает объемы обработки резанием и отходы металла в стружку.

Использование для изготовления моделей легко удаляемых материалов (на основе парафина, канифоли, полистирола, карбамида или полистирола), не прибегая к разборке формы, дает возможность нагреть расплавленный перед разливкой металл до высоких температур, что значительно улучшает заполнение формы и позволяет получать отливки очень сложной формы практически из любых сплавов.

К недостаткам можно отнести высокую трудоемкость и повышенный расход материала на литниковую систему при небольшом выходе продукции.

Литье под давлением. Расплав металла заполняет форму с большой скоростью (до 35 м/с), что обеспечивает высокую плотность материала, точность и качество поверхности.

Получают отливки из стали, цветных металлов и чугуна. Масса отливок может быть от нескольких граммов до 50 кг, толщина стенки 1,0...0,8 мм; 8-12 квалитет точности $Ra = 12,5...3,2$ мкм; применяют в массовом и крупносерийном производстве.

Высокая производительность и возможность получения заготовок сложной формы с мелкозернистой структурой, но высока стоимость пресс-форм и низка их стойкость. В основном применяют для цветных металлов и сплавов.

Литьем вакуумным всасыванием получают отливки в основном из цветных металлов и сплавов, в меньшей степени из стали и чугуна. Отливки имеют толщину стенки до 1 мм. Этот метод применяют в массовом и серийном производстве, обычно для получения отливок из дорогостоящих сплавов.

Центробежное и другие виды литья - отливки из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов. Применяют - в массовом и серийном производстве для пустотелых и тонкостенных отливок (типа тел вращения) сложной конфигурации, например, гильз, втулок, вкладышей и т. д.

Процесс осуществляют путем заливки металла во вращающуюся металлическую форму. Под действием центробежных сил частицы расплавленного металла отбрасываются к поверхности формы и, затвердевая, принимают ее очертания.

Отливка охлаждается наружной стороной (от изложницы) и изнутри (со стороны свободной поверхности) за счет излучения и конвекции воздуха.

Затвердевание металла под давлением приводит к уплотнению металла и повышению механических свойств, в тоже время происходит отделение газов, неметаллических примесей и вытеснение их на внутреннюю поверхность отливки, что следует учитывать в расчете припусков для изделий, имеющих внутреннюю рабочую поверхность.

Применяют и другие методы литья: непрерывное, электрошлаковое, выжиганием, штамповкой из расплава и др.

Непрерывным и полунепрерывным литьем получают отливки из чугуна, стали, алюминиевых и магниевых сплавов; в массовом и серийном производстве для обеспечения поперечного сечения неограниченной длины

(станины металлорежущих станков, корпуса гидро- и пневмоаппаратуры, трубы) и т. д.

Электрошлаковым литьем получают отливки из сталей и сплавов с повышенными механическими свойствами массой до 300 т; в серийном производстве для получения заготовок ответственных деталей судовых двигателей, прокатные валки, турбины и т. д.

Литьем выжиманием получают отливки из алюминиевых и магниевых сплавов; в массовом и серийном производстве для тонкостенных (до 2 мм) и значительных по габаритам (1000×3000 мм) заготовок.

Штамповкой из расплава получают отливки из цветных металлов и сплавов, стали и чугуна в массовом и серийном производстве. Для изготовления фасонных отливок с толщиной стенки до 8 мм несложной конфигурации с высокими механическими свойствами.

Производство исходных заготовок пластическим деформированием

Машинную ковку производят *на молотах и гидропрессах*. В единичном и мелкосерийном производстве - наиболее экономичный способ получения высококачественных заготовок; может оказаться единственно возможным способом для заготовки большой массы.

Возможности: заготовки массой до 250 т простой формы; на молотах в подкладных кольцах и штампах до 10 кг, при этом толщина стенок заготовки достигает 3...2,5 мм, точность 14-16 квалитет, а величина параметра шероховатости поверхности составляет $Ra = 25... 12,5 \text{ мкм}$; для стали, иногда цветных металлов и сплавов.

Штамповка — в условиях массового и крупносерийного производства горячая объемная штамповка рентабельнеековки. Ограничения: до 100 кг, хотя возможно получать поковки до 3 т и выше, но чаще массой до 30 кг.

Применяют для получения поковок из стали, цветных металлов и сплавов. Обычно исходной заготовкой для штамповки является сортовой прокат. Горячую штамповку проводят на молотах, горизонтально-ковочных

машинах (ГКМ), кривошипных горяче-штамповочных прессах (КГШП) и винтовых прессах.

К операциям листовой формовки относят правку (рихтовку), фасонную (рельефную) штамповку, отбортовку, формовку, обжим, раздачу.

Листовая штамповка - размеры заготовок колеблются от нескольких сантиметров до 7 м с толщиной стенки 0,1... 100 мм; точность - 11-12 квалитет, а при дополнительной калибровке — 9-10 квалитет.

Фасонную {рельефную) штамповку применяют для получения на плоских заготовках различных углублений и выступов, ребер жесткости и т. п.

Штамповка перераспределяет объемы металла в локальной зоне. При отбортовке отверстия толщина материала у края бортов значительно уменьшается.

Высадка - частичное изменение формы детали типа прутка на специальных холодновысадочных автоматах, например, высадка головок болтов, винтов, заклепок и т. п.

Методами штамповки изготавливают металлические сплавы (сталь различных марок, сплавы цветных металлов, а также биметаллические) и неметаллические материалы (текстолит, прессшпан, резина, войлок). Металлические материалы по виду заготовок можно разделить на рулонный (шириной свыше 300 мм), ленты, листы, полосы, проволоку и круглый прокат (в бухтах), прутки и прокат различного сечения. Неметаллические материалы, как правило, поставляются в виде листов или полос.

Исходные заготовки из калиброванной стали

Изготавливают круглой, шестигранной, квадратной и прямоугольной толщиной (диаметром) 3...100 мм. Возможно протягивать прокат со скоростью до 100 м/мин после дробеметной и иглофрезерной зачистки без смазочного слоя; кривизна - не более 0,5 мм на 1 метр длины. Прутки покрывают консервирующей смазкой.

Применяют стальные фасонные профили получаемые волочением; в качестве исходной заготовки используют горячекатаный прокат простой формы (круг, квадрат и т.д.).

Исходные заготовки из пластических масс.

Это - полимеры, в которые введены наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители и другие добавки.

Распространены композиционные пластмассы, в состав которых, кроме полимеров, входят наполнители (порошковые, волокнистые, слоистые) для обеспечения требуемых механических, физических и эксплуатационных свойств.

Наполнители бывают минерального происхождения (слюда, кварц, асбест и др.) и органического (древесная мука, бумага, ткань и др.).

В машиностроении применяют фенопласты - сложные пластмассы, основу которых составляет термоактивная фенольно-формальдегидная смола и различные наполнители: пресспорошки, стекловолокниты и текстолиты.

Механическая обработка детали - минимальна или отсутствует.

Термопластичные материалы.

Полимеры, у которых при нагревании не образуется поперечных химических связей и которые при некоторой характерной для каждого полимера температуре могут многократно (повторно) размягчаться и переходить из твердого в пластическое состояние, называются термопластическими *полимерами* или *термопластами*.

Это:

полиамиды, работающие в диапазоне температур $-60+150^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до $+180^{\circ}\text{C}$).

поликарбонаты, сочетающие прозрачность стекла и прочность металла (температура эксплуатации до 150°C), размерную ультрафиолетовую стабильность и высокую сопротивляемость ползучести.

полифениленоксиды (арилоксы) с уникальным комплексом механических и диэлектрических свойств, хорошей термостойкостью, стойкостью к агрессивным средам и радиоактивному излучению, выдерживающие все виды холодной обработки: штамповку, резание, фрезеровку. Они склеиваются с другими пластмассами и материалами.

полисульфоны, не изменяющие своих свойств в диапазоне температур от -100+150°C. Электроизоляционные свойства полисульфона сохраняются в широком диапазоне частот и температур, а также после пребывания в воде и в условиях повышенной влажности; отличается стойкостью к окислению и способностью к самозатуханию, при высокой температуре не выделяет токсичных продуктов; хорошо окрашивается с помощью красителей, добавляемых непосредственно в бункер литейной машины.

полибутилентерефталаты, обладающие прекрасными тепловыми свойствами; меньшим влагопоглощением, по сравнению с поликарбонатом - высокой химической стойкостью, механическими и антифрикционными свойствами, термостойкостью, низким влагопоглощением и, в результате этого, высокой стабильностью размеров, хорошими диэлектрическими свойствами, стойкостью к усталостному разрушению, к воздействию факторов окружающей среды и к действию химических веществ.

Детали из него имеют гладкую глянцевую поверхность и их можно длительно эксплуатировать при температуре 120... 140 °C.

полиэтилентерефталаты, термопластичные материалы, получаемые путем модификации полиэтилентерефталатной смолы полиэтиленом; применяется для изготовления деталей конструкционного назначения методом литья под давлением, устойчив к действию разбавленных кислот, растворов минеральных солей, органических растворителей; отличается низким коэффициентом трения, незначительным водопоглощением и стабильностью формы изделий; можно эксплуатировать в интервале температур -60...+ 150 °C.

Все перечисленные полимеры могут выдержать температуру выдерживать температуру 160...180°C, но с учетом срока службы: после выдержки в течение 20 000 ч при температуре 100... 150 °C они теряют половину своих свойств.

Термореактивные полимеры (реактопласты) под действием теплоты и давления подвергаются коренным необратимым изменениям. Изделия, изготовленные из термореактивных материалов, не могут быть вновь размягчены и переработаны заново.

Пресс-материалы представляют собой смеси термореактивных смол с наполнителями и специальными добавками. Составные части пресс-материалов находятся в тонкоизмельченном состоянии, поэтому такие смеси названы пресс-порошками.

Изделия, получаемые из пресс-материала, связующим веществом в котором является термореактивный полимер, отверждаются в пресс-форме при нагревании и извлекаются из формы без охлаждения. Процесс переработки пресс-материалов на их основе необратим. Отходы переработки нельзя использовать. Термореактивные смолы (полимеры) и пластмассы на их основе можно разделить на несколько групп. Наиболее распространены - фенопласты, эпоксипласты, эфиропласты.

Фенопласты обладают хорошими механическими свойствами, водостойкостью, стойкостью к растворителям, нефти, бензину, кислотам (но малостойки к действию щелочей) и хорошими диэлектрическими характеристиками.

Фенопласты представляют собой композиции на основе новолачных и резольных смол с органическими и неорганическими наполнителями. Из органических наполнителей в основном используют древесную муку, из неорганических - асбест, каолин, слюду, стекловолокно и т.д. Качество изготовленных из фенопластов изделий зависит от свойств смолы и наполнителя, от смачиваемости наполнителя смолой, адгезии между смолой и наполнителем.

Формообразование пластических масс

В процессе формования можно получить различные структуры формуемого материала, которым соответствуют разные эксплуатационные свойства изделий. Поэтому при оценке конструкционных свойств пластмасс необходимо учитывать их зависимость от технологии изготовления изделия.

Наиболее распространенным методом переработки термопластов является литье под давлением на литьевых машинах, называемых *термопластоавтоматами* (с объемом отливки от $8 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ с давлением литья до 0,18 МПа).

Предварительный отжиг пластмасс повышает их стойкость к растрескиванию. Вследствие образования множества мельчайших трещин, отражающих и рассеивающих свет, происходит помутнение и так называемое серебрение поверхности.

Особенности обработки изделий из пластических масс

Обработка заключается в снятии стружки тем или иным способом на станках для получения требуемой конфигурации изделия (невыполнимой по каким-либо причинам при формовании, например, в результате чрезмерной сложности формующего инструмента) и обеспечении определенной точности размеров обрабатываемых изделий, которая во многих случаях оказывается более высокой (второй и третий классы точности), чем при формовании.

Обработка изделий должна быть минимальной.

Зачистка - обязательная операция, которую можно совмещать с обработкой.

Механическая обработка изделий из пластмасс обусловлена свойствами пластмасс. Незначительное сопротивление сжатию и срезу облегчает механическую обработку пластмасс и для этого необходимы небольшие усилия резания. В режущем инструменте аккумулируется большое количество теплоты, выделяющейся при обработке (чем выше скорость обработки, тем

больше теплоты), что способствует не только быстрому износу инструментов, но и быстрому размягчению пластической массы.

Все это служит причиной образования задиров и даже прижогов на обрабатываемых поверхностях изделия, т. е. термомеханической деструкции (разложение) пластической массы.

Установлено, что при повышенных требованиях к стойкости инструмента, качеству обрабатываемой поверхности и точности размеров изделий из пластмасс целесообразно применять инструмент, режущей частью которого является алмазная крошка. К недостаткам алмазного инструмента при зачистке пластмассовых изделий относят высокую первоначальную стоимость инструмента и возможность его повреждения вследствие небрежной работы. Угол заострения режущей части алмаза рекомендуется принимать равным 98 или 85°; подача - не более 0,05 мм/об., глубина резания — до 1 мм при скорости резания до 1300 м/мин.

Для зачистки изделий из пластмасс шлифовальными кругами рекомендуют следующие скорости резания: при черновой обработке — 25...30 м/с, при чистовой — 35 м/с. При использовании шлифовальных шкурок для зачистки изделий из пластмасс скорости шлифования равны: при черновой обработке — 20...25 м/с; при чистовой — 25...30 м/с; при особо чистой — 130...40 м/с.

Исходные заготовки, получаемые методом порошковой металлургии

Основными исходными материалами являются порошки железных, никелевых кобальтовых, молибденовых, вольфрамовых и других металлов. Формирование изделий осуществляют холодным прессованием в закрытых пресс-формах с последующим спеканием. Например, спеченный из порошка распределительный вал двигателя длиной 447 мм и массой 2,5 кг, позволяет не только экономить 75 % по массе по сравнению с чугунным литьем, но и повысить износостойкость вала в 7 раз.

Металлокерамические материалы. Например, бронзографит (85...88 % меди, 8...10 % олова, 3...5 % графита) можно применять при изготовлении

подшипников, в которых практически отсутствует дополнительный смазочный материал. Различают антифрикционные металлокерамические материалы на медной и железной основе.

Свойства готовых металлокерамических изделий в значительной степени зависят от плотности спрессованных из порошка брикетов и распределения плотности по объему. Брикетты прессуют под давлением 2500...4000 Па для бронзографита и 4000. ..5000 Па для железосульфидного материала.

Спекание бронзографита проводят в течение 2...3 ч при температуре 760...780 °С, а железосульфидированного материала - 1... 1,5 ч при температуре 1130... 1150 °С.

От сложности формы деталей зависит возможность их прессования в конечном виде или необходимость проведения после спекания дополнительной механической обработки, что в значительной степени влияет на производительность и себестоимость.

В условиях массового и крупносерийного производства экономически целесообразно получение заготовок, наиболее близко приближающихся по форме и размерам к готовым деталям. В этом случае себестоимость заготовок увеличивается, но объем механической обработки значительно сокращается.

В условиях единичного и мелкосерийного производства заготовки далеки по размерам и форме от готовой детали, т. е. имеют значительные припуски для механической обработки. Из многих возможных способов получения заготовки необходимо выбрать экономически целесообразный.

Окончательный выбор метода устанавливают на основе расчетов:

- А) себестоимости метода получения исходных заготовок;
- Б) себестоимости самого процесса механообработки.

5.6.Выбор технологических баз для установки заготовок

Выбор технологических баз для установки обрабатываемых заготовок при выполнении операций производится в соответствии с правилами базирования (т.е. принципами *единства и постоянства баз, совмещения баз и последовательной смены баз*).

Возможны следующие случаи базирования:

- 1. На необработанные поверхности.*
- 2. На предварительно обработанные, но несменяемые поверхности.*
- 3. С повторной обработкой баз.*
- 4. Базирование на различные последовательно сменяемые поверхности.*

На первой операции во всех случаях планируется обработка *главных технологических* (установочных) баз; а если их несколько, то желательно всех сразу - без переустановов.

- 1. Корпусные и коробчатые детали.*

а) базирование по плоскости и двум установочным отверстиям (один палец приспособления цилиндрический, второй - ромбический);

- б) базирование по трем базовым поверхностям.

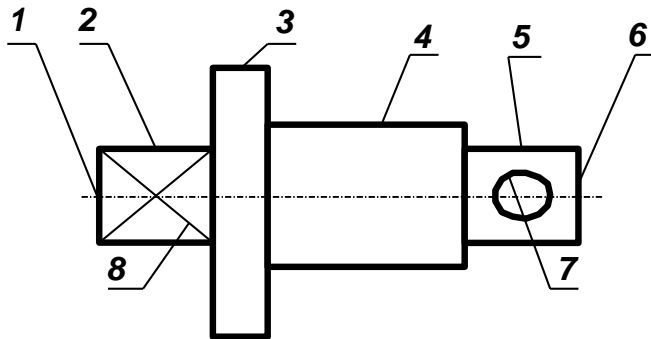
- 2. Диски, втулки, шестерни и фланцы.*

Базирование преимущественно выполняется на *центральное отверстие с упором в один из торцев*.

- 3. Валы.*

Главными технологическими базами являются - *центровые отверстия*.

5.6. Составление планов обработки отдельных поверхностей (определение состава технологических переходов)



Исходными данными для составления плана являются:

1. Чертеж (с него выполняют эскиз с номерами поверхностей), на котором указаны качества, шероховатость, масса,
2. Внешний вид исходной заготовки.

1) Исходя из качества точности и шероховатости конкретной поверхности по таблицам точности [, т.1, стр.8, табл. 4 и 5] составляют примерный план ее обработки (данные удобно представлять в виде таблицы).

1,6	2,8	3	4	5,7
Черновое точение h12	Черновое точение h12: и Черн.фрезеров	Черновое точение h12	<u>0.Заготовка (h14)</u> 1.Черновое точение h12 (5кл) 2.Чистовое точение h10 (4кл) 3.Предварит. шлифование h8 4.Чистовое шлифов. h6 (2кл)	Черновое точение h12 и сверление
			1.Черновое точение h12 2.Получистовое точ. h9 3.Чистовое точение h6	

Далее сравнивают ориентировочный вариант (составленный) с типовым ТП и вносятся необходимые коррективы.

2) Аналогичные действия выполняются при планировании обработки всех других поверхностей.

3) Расчленяют операции и переходы на черновые, получистовые и чистовые, а затем формируют примерный маршрут обработки.

4) Внедряют передовые методы механической обработки (ППД, РСО, ЭЭО и т.п.) и принципы *концентрации* и *дифференциации* операций.

Примечание:

1. Необходимо стремиться к построению самого короткого маршрута;

2. Учитывать тип производства, наличие инструментов и оснастки;
3. Желательна многолезвийная обработка (развертывание вместо растачивания).

При построении маршрута необходимо учитывать, что:

1. Каждому методу окончательной обработки предшествует один или несколько предварительных методов;
2. Каждый последующий метод обработки должен быть точнее предыдущего;
3. Выбор оптимального варианта маршрута обработки *отдельных поверхностей* производится по суммарному основному времени T_o обработки с использованием для расчета нормативных данных.

Зная метод получения исходной заготовки и ее вид, подбирают начальный метод обработки. Если точность невысокая, то вначале назначают черновую обработку. Если точность высокая, тогда возможно сразу назначить чистовые и даже отделочные методы обработки. При этом, необходимо помнить, что отделочной обработке предшествует один или несколько предварительных (т.е. менее точных) методов.

Например:

1. Чистовому шлифованию - предшествуют черновое шлифования и, как правило, (черновое + чистовое) точение.
2. Развертыванию отверстий - сверление и зенкерование.

При построении маршрута обработки поверхностей исходят из того, что каждый последующий метод должен быть точнее предыдущего. Число возможных вариантов - может быть весьма разнообразным, но требуется выбрать оптимальный для конкретных условий производства.

Показателем оптимальности как правило является наименьшее суммарное штучное время.

При выборе маршрутов обработки *отдельных поверхностей* заготовок необходимо:

1. Стремиться к использованию самого краткого маршрута.
2. Учитывать тип производства.
3. Иметь информацию о наличии и возможности использования различных инструментов и оснастки.
4. Желательно применять многолезвийную обработку (развертывание и зенкерование вместо растачивания).
5. Предусматривать возможность совмещения обработки нескольких поверхностей (при одинаковых способах их обработки: два резца на одном суппорте - вместо одного).
6. Во всех случаях учитывать обеспечение заданной точности взаимного расположения поверхностей и допускаемую погрешность формы, а также шероховатость.

В общем случае, маршруты обработки отдельных поверхностей выбираются приближенно, оценивая варианты по трудоемкости (т.е. по затратам времени $T_{шт}$).

Более точно маршрут подбирают при сравнении суммарных себестоимостей обработки основных поверхностей.

5.8. Рекомендации к построению общего маршрута обработки

Составление общего маршрута обработки заготовки многовариантная задача, целью которой является построение общего плана обработки заготовок (т.е. определение последовательности операций).

При этом, необходимо *наметить* и содержание операций ТП, подобрать тип оборудования, а также оснастку.

Задача значительно упрощается при использовании типовых маршрутов обработки аналогичных заводских деталей (т.е. подбором *базового варианта* ТП).

Во внимание целесообразно принимать следующее:

1. При определении общей последовательности обработки, вначале (т.е. на первых операциях) необходимо планировать обработку установочных технологических баз: как правило поверхность, относительно которой скоординировано наибольшее число размеров.

2. Затем обрабатывать остальные поверхности в последовательности, обратной точности (т.е. чем точнее поверхность, тем позже обрабатывается).

3. Последней обрабатывается наиболее точная поверхность, т.е. имеющая наибольшее влияние на работоспособность узла или изделия, в которое входит обрабатываемая заготовка.

4. В конец маршрута необходимо выносить легкоповреждаемые поверхности: например, наружную резьбу.

5. Для своевременного выявления внутренних дефектов (раковины, закалочные трещины и т.п.), после черновых операций (при необходимости) необходимо предусматривать контрольные операции для отбраковки и недопущения дефектов на чистовые операции.

При производстве *ответственных изделий* маршрут обработки делят на стадии: черновую, чистовую и отделочную. При этом на первой снимаются большие припуски (напуски), вторая - промежуточная, а на третьей достигается требуемая точность и шероховатость.

Группируя обработку по стадиям (т.е. увеличивая разрыв по времени появляется возможность проявления *скрытых дефектов*, а внесение отделочной обработки в конец маршрута способствует уменьшению вероятности повреждения при межоперационном транспортировании.

Кроме того, черновую обработку могут выполнять менее квалифицированные рабочие и на менее точном оборудовании.

Изложенные положения не являются обязательными при достаточной жесткости системы и малых размерах обрабатываемых поверхностей, когда возможно совмещение черновых и чистовых операций (переходов).

Например, при использовании автоматов для изготовления заготовок из прутка.

При наличии термообработки ТП расчленяют на две части с возможностью, при необходимости, правки от коробления или же повторной обработки отдельных поверхностей (в частности базовых).

Термообработка усложняет ТП, особенно как цементация отдельных поверхностей, которые не должны упрочняться (*неснятый* припуск или защитное омеднение). Тогда необходимо вводить гальванические операции и дополнительные операции по снятию оставленного защитного припуска после цементации, но до закалки.

Обработка вторичных поверхностей (поверхностей положения) таких как: радиальные и торцевые отверстия, шпоночных пазов, лысок - производится обычно после чистовой обработки основных поверхностей в последовательности, удобной для существующей расстановки оборудования, чтобы транспортные пути были кратчайшими и неперекрестными или петлеобразными).

Обработка точных пазов, лысок и других элементов (если базами являются наружные поверхности) производится после отделочной обработки баз.

Точение канавок, фасок, галтелей и т.п. производят на чистовой стадии обработки.

После сверлильных, фрезерных, строгальных операций часто назначают слесарные операции или галтовку (например, вибро) для снятия заусенцев.

Предварительное содержание операций устанавливают объединением тех переходов на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на одном станке.

Устанавливают тип станка и техническое оснащение. В дальнейшем, при разработке операционной технологии, «наметки маршрута» уточняются и корректируются (при необходимости).

5.9. Технический контроль

Технический контроль при механической обработке можно выполнять на рабочих местах (рабочие, наладчики, мастера) в составе выполнения технологических операций, а также на стационарных местах (стол ОТК).

Контрольные операции (для службы ОТК) вставляют между обрабатывающих операций (чаще всего после ответственных).

Различают *сплошной* и *выборочный* контроль.

Первый - после технологических операций, где велика вероятность брака, *второй* - при высокой устойчивости ТП, больших объемах и после второстепенных операций.

Задача проектирования ТП связана с выбором *объективно необходимой* формы контроля и его средств: *активный* или *пассивный*.

В единичном производстве - выполняют *пооперационный пассивный контроль* с использованием универсальных измерительных средств.

При изготовлении сложных деталей делают тщательную выверку положения детали, тщательные измерения при обработке (в присутствии ОТК) и другие мероприятия.

В серийном производстве – контроль осуществляют после нескольких операций и при окончательной приемке обработанных заготовок (используют: универсальные средства и специальные контрольные приспособления, калибры, шаблоны и т.п.).

В массовом производстве - применяют контрольно - измерительные приборы, контрольные многопараметрические устройства, устройства активного контроля.

Пассивный контроль (выборочный) применяют при устойчивых ТП, а при малоустойчивых ТП - активные методы контроля (точечные диаграммы и встраиваемые подналадчики, в том числе блокировочные устройства).

Средства контроля выбирают с учетом их метрологических характеристик (пределы измерения, цены деления и точности измерения),

конструктивных особенностей деталей (габариты, масса, жесткость, шероховатость), экономических соображений и других факторов.

Допустимая погрешность контроля - не более 20 % допуска на размер.

Технолог должен устанавливать объект, метод и средства контроля.

Он формирует техническое задание на их конструирование, выбирает схему контроля, устанавливает периодичность выборок при предупредительном контроле (статистический метод), разрабатывает план регулировки ТП.

Перед контрольными операциями необходимо предусмотреть (при необходимости) очистку и промывку, удаление заусенцев.

Актуальность и важность контроля ТП подтверждается наличием на предприятиях служб приемки, необходимость введения которой была обусловлена длительной недооценкой значения контрольных операций.

После определения маршрута обработки отдельных поверхностей, составления общего маршрута и средств контроля, уточняется тип оборудования и оснастки (затем корректируется).

6.ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

При разработке операций механической обработки заготовок решают следующие задачи:

- 1) определяют рациональную структуру операции, что позволяет составить или уточнить содержание, последовательность выполнения и возможность совмещения во времени переходов операции;
- 2) выбирают СТО;
- 3) выбирают средства механизации и автоматизации выполнения операции (например, определяют модель оборудования), включая и транспортные устройства для перемещения заготовок;
- 4) назначают и рассчитывают припуски, а затем режимы резания;
- 5) определяют нормы времени;
- 6) устанавливают настроечные размеры и составляют схемы наладки.

Возможные варианты оценивают по производительности и себестоимости.

Разрабатывая операцию, как правило стремятся *уменьшать время* выполнения технологической *операции* (нормы времени).

При поточном методе работы время изготовления единицы продукции увязывают с заданной производительностью поточной линии - тактом выпуска.

6.1.Виды структур технологических операций

Структуру операции механической обработки зависит от числа и последовательности технологических и вспомогательных переходов. Число объединяемых в операцию переходов зависит от серийности производства, такта выпуска и характеризует степень концентрации или дифференциации переходов.

В единичном и мелкосерийном производствах операции, планируют по принципу концентрации переходов. По этому же принципу строят ТП в крупном и тяжелом машиностроении с использованием переносных станков.

В крупносерийном и массовом производстве операции и ТП составляют по принципу дифференциации операций для конвейерных автоматических линий, состоящих из простых узкоспециализированных станков; а принцип концентрации операций применяют для линий, содержащих сложные многошпиндельные автоматы..

В среднесерийном производстве принцип концентрации операций применяют для построения операций обработки на станках с ЧПУ и быстропереналаживаемых агрегатных станках автоматах, а принцип дифференциации — для переменного-поточных линий групповой обработки заготовок.

Степень концентрации или дифференциации технологических операций выбирают при назначении схемы построения операции.

Кроме количества переходов операции отличаются по совмещению переходов во времени. Возможно одновременное выполнение технологических (обработка нескольких поверхностей), вспомогательных (подвод режущих инструментов к нескольким поверхностям), а также технологических и вспомогательных переходов (во время установки заготовки на других позициях многошпиндельного станка идет обработка).

Технологические операции различают по следующим признакам:

а) по числу одновременно устанавливаемых для обработки заготовок (*одноместные* и *многоместные* схемы);

б) по числу участвующих в обработке инструментов (*одноинструментальные* и *многоинструментальные* схемы);

в) по последовательности работы инструментов при выполнении операции (*последовательная*, *параллельная* и *параллельно-последовательная* схемы обработки).

6.2.Определение припусков и межоперационных размеров

Припуск - это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции (ГОСТ 3.1109-82).

Припуск может быть удален с заготовок резанием (при лезвийной обработке) или абразивом (при абразивном инструменте) с целью достижения требуемого качества и точности.

При обработке ППД *понятие припуск* отсутствует, а существует - *натяг* (величина вдавливания деформирующего инструмента).

При лезвийной обработке потери в стружку могут достигать 50 %, на автомобильных заводах в стружку уходит 20 % для литых и 30 % для кованных заготовок.

Общий припуск - слой металла, удаляемый с исходной заготовки до получения готовой детали.

Припуск, удаляемый на переходе, называется *промежуточным*. *Операционный припуск* равняется сумме промежуточных припусков, т.е. припусков на отдельные переходы, входящие в данную операцию. Назначение чрезмерно больших припусков приводит к:

- непроизводительным потерям материала, превращаемого в стружку;
- увеличению трудоемкости механической обработки;
- повышению расхода режущего инструмента и электрической энергии;
- увеличению потребности в оборудовании и в рабочей силе.

Назначение недостаточных припусков:

- не обеспечивает удаления дефектных слоев материала, достижения требуемой точности и шероховатости поверхности;
- вызывает повышение требований к точности исходных заготовок и приводит к их удорожанию;
- затрудняет разметку и выверку положения заготовок при обработке по методу пробных ходов и увеличивает опасность появления брака.

Существуют два метода определения припусков:

1. *Опытно-статистический (табличный)* применяется при проектировании и учитывает структуры конкретных операций, а включает в себя лишь допуски на предшествующие операции (базируется на предыдущем опыте).

При этом методе *общие* и *операционные* припуски выбирают по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных.

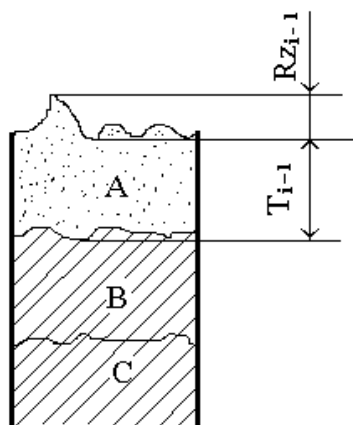
Недостаток метода в том, что припуски назначают без учета конкретных условий построения ТП. Так, *общие припуски* назначают без учета маршрута обработки данной поверхности, а *операционные и промежуточные* - без учета схемы установки заготовки и погрешности предшествующей обработки.

Опытно-статистические припуски во многих случаях *завышены*, так как они ориентированы на условия обработки, при которых припуск должен быть большим во избежание появления брака.

Методика построения нормативных таблиц, заставляет технолога назначать припуск догматически, отвлекая от анализа условий выполнения операции и изыскания путей уменьшения величины припусков.

2. *Расчетно-аналитический*, разработанный профессором В.М.Кованом в 1948 году, учитывает элементы конкретного ТП по технологическим переходам.

Согласно этому методу величина *промежуточного припуска* должна быть такой, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки заготовки, возникающие на выполняемом переходе.



А- удаляемая часть поверхностного слоя;

В- неудаляемая часть поверхностного слоя;

С- основная структура металла;

$R_{z,i-1}$ — высота микронеровностей;

T_{i-1} — глубина дефектного поверхностного слоя.

Рисунок 6.1 Схема поверхностного слоя обрабатываемых деталей

Величину минимального промежуточного припуска определяют с учетом факторов:

Высоты неровностей $R_{z,i-1}$ на предшествующем переходе обработки данной поверхности. Для первой операции эта величина берется по исходной заготовке.

Глубины T_{i-1} дефектного поверхностного слоя на предшествующем технологическом переходе.

Пространственного отклонения ρ_{i-1} в расположении обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки.

К пространственным отклонениям относятся:

- отклонения от *соосности* наружной (базовой) поверхности и растачиваемого отверстия у заготовок типа втулок, дисков и гильз;
- отклонения от *соосности* обрабатываемых ступеней базовым шейкам или линии центровых гнезд у заготовок ступенчатых валов;
- отклонения от *перпендикулярности* торцовой плоскости оси базовой цилиндрической поверхности и другие погрешности взаимного положения обрабатываемых и базовых элементов детали.

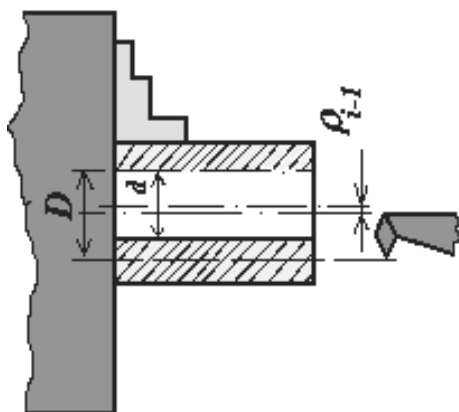


Рисунок 6.2 Схема, иллюстрирующая влияние отклонения от соосности ρ_{i-1} наружной и внутренней поверхностей втулки на припуск под растачивание отверстия.

Наружной (базовой) поверхностью втулка закрепляется в трехкулачковом патроне. Штриховая линия характеризует заданное отверстие диаметром D .

Из схемы видно, что составляющая промежуточного припуска (на диаметр), компенсирующая отклонения от *соосности* поверхностей втулки, равна $2\rho_{i-1}$. Диаметр отверстия заготовки с учетом этой составляющей $d = D - 2\rho_{i-1}$.

4. Погрешности установки ε_i , возникающей на выполняемом переходе.

При каждой переустановке детали обрабатываемая поверхность занимает различное положение при обработке на предварительно настроенном станке.

Нестабильность положения обрабатываемой поверхности должна быть компенсирована дополнительной составляющей припуска.

Общая величина минимального промежуточного припуска определяется суммированием $R_{Z,i-1}$, T_{i-1} , ρ_{i-1} и ε_i .

Пространственные отклонения и погрешности установки - векторные величины и поэтому их суммирование выполняется по правилу сложения векторов. При обработке плоскостей имеем коллинеарные векторы ρ_{i-1} и ε_i .

В этом случае

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i| = (\rho_{i-1} + \varepsilon_i),$$

т. е. *векторная сумма* определяется арифметической суммой значений модулей векторов.

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения векторы ρ_{i-1} и ε_i могут принимать любое угловое взаимное положение. Поэтому принято как наиболее вероятное значение этих углов равное 90° . Тогда их сумма будет равна:

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i| = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

Таким образом, формулы для определения минимального промежуточного припуска на обработку можно записать:

Припуск на сторону при последовательной обработке плоскостей:

$$Z_{i,\min} = (R_{Z,i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \varepsilon_i),$$

Припуск на две стороны при параллельной обработке противоположащих плоскостей:

$$2Z_{i,\min} = 2[(R_{Z,i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \varepsilon_i)],$$

Припуск на диаметр при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения:

$$2Z_{i,\min} = 2[(R_{Z,i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}].$$

Индекс i означает, что этот припуск снимается на выполняемом технологическом переходе обработки данной операции.

Расчет межоперационных размеров.

На основе расчета промежуточных припусков определяют предельные (*операционные*) размеры заготовки по всем технологическим переходам.

При построении схемы исходными являются заданные чертежом предельные размеры $d_{3,\min}$ и $d_{3,\max}$ готовой детали, которые получают на последней операции обработки поверхности

К наименьшему предельному размеру готовой детали прибавляем минимальный припуск на операцию тонкого точения $Z_{3,\min}$ и получаем наименьший предельный размер заготовки после чистового точения $d_{2,\min}$.

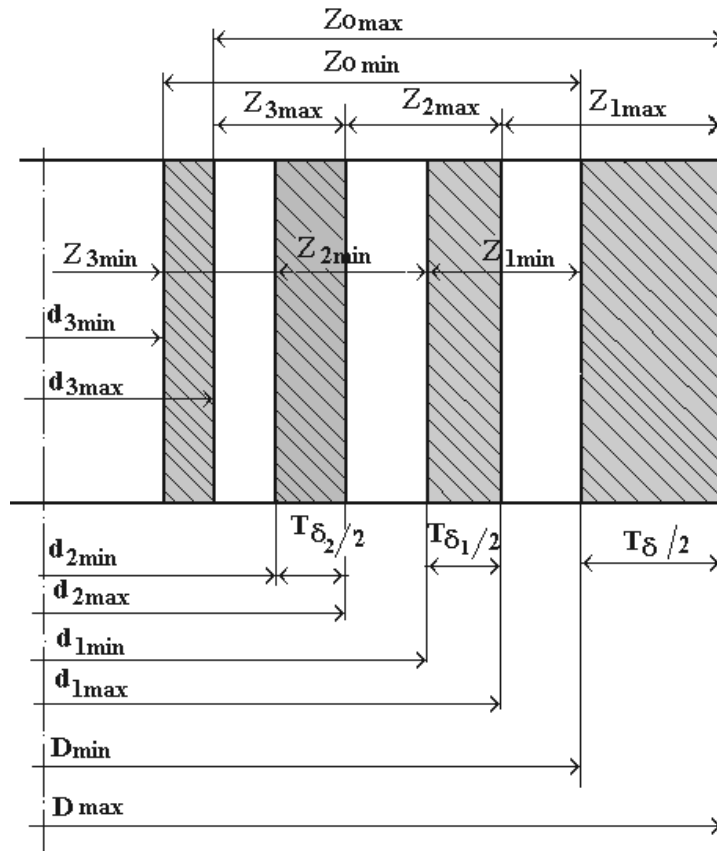


Рисунок 6.3 Графическая схема расположения припусков и допусков

Для получения наименьшего предельного размера $d_{1,min}$ заготовки после чернового точения к размеру $d_{2,min}$ прибавляем минимальный припуск $Z_{2,min}$ на чистовое обтачивание.

Наименьший предельный размер D_{min} исходной заготовки получается прибавлением к размеру $d_{1,min}$ минимального припуска на черновое точение $Z_{1,min}$.

Наибольшие предельные размеры $d_{1,max}$, $d_{2,max}$, D_{max} заготовки по технологическим переходам получаются прибавлением к соответствующим наименьшим предельным размерам технологических допусков

$$T_{\delta 1}, T_{\delta 2} \text{ и } T_{\delta}.$$

Из приведенной схемы легко получить минимальный общий припуск на обработку $Z_{0,min}$ суммированием промежуточных минимальных припусков по всему технологическому маршруту, и максимальный общий припуск $Z_{0,max}$.

Из схемы видно, что промежуточный максимальный припуск для выполнения какого-либо перехода равен разности между наибольшими предельными размерами заготовки на предшествующем и выполняемом переходах.

Рассмотренная схема расположения припусков и допусков характерна для тех случаев, когда обработку производят на предварительно настроенных станках, и припуск снимают за один ход. Необходимые для расчета промежуточных размеров заготовки допуски на выполнение технологических переходов принимают по нормативам средней экономической точности. Полученные *наименьшие предельные размеры заготовки* по технологическим переходам необходимо округлять до расчетного (принятого) размера.

Округление производят в сторону увеличения для наружных и в сторону уменьшения для внутренних поверхностей. Его следует выполнять до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода.

Рассмотренный расчетно-аналитический метод определения припусков и межоперационных размеров заготовки применяется в массовом и серийном производствах. Во всех случаях метод дает значительный эффект в части экономии металла и снижения трудоемкости и себестоимости обработки.

6.3. Расчеты режимов резания.

Режимы резания определяются глубиной резания t , подачей S и скоростью резания V . Значения t , S , V влияют на точность и качество получаемой поверхности, производительность и себестоимость обработки.

В порядке возрастания влияния на стойкость инструментов вставляющие режимы резания располагаются следующим образом: $t \rightarrow S \rightarrow V$. Поэтому для одноинструментальной схемы обработки вначале устанавливают глубину резания, а затем подачу и скорость резания.

При обработке поверхности на предварительно настроенном станке глубина резания равна припуску на заданный размер этой поверхности по выполняемому технологическому переходу.

Подача должна быть установлена максимально допустимой. При черновой обработке она ограничивается прочностью и жесткостью элементов технологической системы станка, а при чистовой и отделочной - точностью размеров и шероховатостью обрабатываемой поверхности. Определенная расчетом или по нормативам подача должна соответствовать паспортным данным станка.

Скорость резания зависит от выбранной глубины резания, подачи, качества и марки обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента и ряда других факторов.

Скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам теории резания или устанавливают по нормативным данным. Скорость резания в общем виде определяют так:

$$V = A / T_u^m$$

где A — постоянная, характеризующая условия обработки, материал заготовки, глубину резания и подачу;

T_u — стойкость режущего инструмента; m — показатель стойкости.

Обычно при расчете скорости резания используют минимально допустимую стойкость режущего инструмента T_{min} . Зная стойкость инструмента по таблицам находят значение V , по которому определяют расчетное значение частоты вращения шпинделя. Далее по паспорту станка подбирают ближайшее меньшее значение n .

Рассмотренная методика справедлива для одноинструментальной схемы обработки.

При обработке на станках с многоинструментальными наладками методика установления режимов резания изменяется.

На практике встречается пять вариантов *многоинструментальной* схемы обработки:

1.Обработку заготовок ведут последовательно рядом инструментов, которые работают независимо один от другого; при смене инструмента изменяют и режимы резания.

2.Обработку производят параллельно действующими комплексами инструментов, каждый из которых работает независимо от других с различными режимами резания (многошпиндельные сверлильные агрегатные головки).

3.Обработку заготовок осуществляют комплексом инструментов, закрепленных в одном или нескольких блоках (например, державках или оправках). Инструменты блока имеют единую подачу, но разные скорости резания в зависимости от размера обрабатываемой поверхности; длительность работы каждого инструмента различна. Это характерно для многорезцовых токарных полуавтоматов, токарно-револьверных станков.

4.Комплекс инструментов в блоке имеет единую минимальную подачу, но работает с разными скоростями резания. Случай характерен для многошпиндельных сверлильных, расточных и продольно-фрезерных станков.

5.Комплекс инструментов работает с одинаковой скоростью резания, но с разной подачей (продольно-строгальные станки).

В первых двух случаях режимы резания устанавливают по приведенной выше методике. Если подача и скорость резания для первого случая оказываются близкими, то для экономии времени на останов и пуск станка можно использовать средние значения этих составляющих режимов резания.

В третьем случае глубину резания и подачу устанавливают для каждого инструмента по методике для одноинструментальной схемы обработки. По каждому блоку находят наименьшую лимитирующую технологически допустимую подачу. Далее выбирают лимитирующий по скорости резания инструмент, чаще всего тот, который обрабатывает участки заготовки с наибольшим диаметром и наибольшей длиной. Для этого инструмента

рассчитывают условную стойкость $T_y = T_{\min}^\lambda$, $\lambda = l_u / l_k$, l_u – путь подачи лимитирующего инструмента; $l_{\text{ол}}$ — путь подачи инструментального блока.

Значение T_{\min} выбирают по нормативам в зависимости от количества и типа режущих инструментов, материала обрабатываемой заготовки.

По стойкости T_y находят соответствующую скорость резания по формуле или по нормативам и рассчитывают частоту вращения шпинделя по паспортным данным станка. По найденным режимам определяют суммарный момент и мощность резания, которые сравнивают с паспортными данными. При необходимости режимы резания корректируют, изменяя подачу и скорость резания.

В четвертом случае для каждого инструмента наладки назначают глубину резания и подачу S_0 на один оборот шпинделя (по нормативам). Аналогично третьему случаю определяют лимитирующие по скорости резания инструменты и рассчитывают условную экономическую стойкость. По значению T_y вычисляют или находят по нормативам значения скорости резания V_u и частоты вращения n_u для каждого инструмента. Минутную подачу инструмента определяют по формуле $S = S_0 n_u$. Минутную подачу всей многшпиндельной головки принимают по наименьшей S . Корректируют значения $V_{ш}$ и $n_{ш}$ для различных шпинделей по формуле $n_{ш} = (S/S_{ш})n_u$. По найденным режимам резания шпинделей рассчитывают суммарный момент и мощность резания, сравнивают их с паспортными данными и при необходимости корректируют режимы резания.

Режимы резания для пятого случая устанавливают в аналогичной последовательности. Для каждого инструментального блока (суппорта) выбирают минимальную подачу и по наибольшему пути резания лимитирующие инструменты. Для всех блоков по лимитирующим инструментам рассчитывают скорость резания. Режимы резания согласовывают с паспортными данными станка.

Таким образом, общая схема расчетов режимов резания следующая :

1. Определяют глубину резания t мм.

$$t = (D - d) / 2$$

при обработке внутренних цилиндрических поверхностей (расточивание, рассверливание);

D, d - диаметры до и после обработки.

$$t = D/2 - \text{при сверлении};$$

$$t = H - h - \text{при плоском шлифовании, фрезеровании.}$$

H, h - размер до и после обработки.

2. *Определяют подачу S (исходя из условий обработки)*

$$S_{\text{мин}} = S_o \times n - \text{минутная [мм/мин]}$$

$$S_z = S_{\text{мин}} / (n \times z) - \text{подача на зуб (для многолезвийной), [мм /зуб]}$$

3. *Скорость резания V_p (расчетную) :*

$$V_p = V_o \times K1 \times K2 \times K3$$

$K1$ – коэффициент качества поверхности; $K2$ - коэффициент состояния заготовки; $K3$ – коэффициент качества инструмента.

Расчетное число оборотов шпинделя

$$n_p = 1000 \times V_p / (\pi \times D)$$

Фактическую скорость резания

$$V_{\text{факт}} = \pi \times D \times n_{\text{ст}} / 1000, \quad (\text{м/мин})$$

4. Период стойкости инструмента T (по справочнику)

5. *Мощность станка (необходимую):*

$$N_{\text{необх}} = N_{\Sigma} / n,$$

N_{Σ} - по формулам теории резания.

6. *Определяют норму основного времени :*

$$T_o = L \times i / S_{\text{мин}}$$

L - расчетная длина перемещения инструмента;

i - число рабочих ходов;

$S_{\text{мин}}$ - минутная подача.

Оптимизация режимов резания может производиться исходя из критериев себестоимости и производительности.

Затем приступают к проектированию карт наладок.

Требования к проектированию карт наладок:

- 1) полуконструктивное изображение патронов, цанг, оправок и т.п. ;
- 2) указываются все размеры (с отклонениями), шероховатость и погрешность формы после данного технологического перехода (операции) ;

- 3) режущий инструмент (кроме *мерного*) показывают *в конечном положении*;
- 4) обрабатываемые поверхности выделяют контурной линией в два раза толще, чем основные линии;
- 5) не допускается цветное оформление наладок (штамп в правом верхнем углу).

6.4. Штучное время и его элементы. Основы технического нормирования.

Техническое нормирование это установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (ГОСТ 3.1109-82).

Норма времени - это регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации (ГОСТ 3.1109-82)

При техническом нормировании выявляются резервы рабочего времени, улучшается организация труда на предприятии, устанавливается обоснованная мера труда (т.е. регламентируется норма времени).

При техническом нормировании труда технологическая операция разлагается на элементы: машинные, машинно-ручные, переходы, рабочие ходы, приемы и движения.

Каждый элемент подвергают анализу как в отдельности, так и в сочетании со смежными элементами.

Перед расчетом нормы времени производится анализ структуры нормируемой операции с целью ее улучшения путем:

- исключения излишних приемов и движений;
- сокращения пути всех движений;
- замены утомительных приемов работы более легкими;
- обеспечения выполнения ручных приемов во время автоматической подачи;
- применения многоместных приспособлений;
- назначения рациональных режимов резания;
- использования опыта передовиков по сокращению затрат времени.

Применяются два метода определения нормы времени:

- опытно-статистический;

- расчетно-аналитический.

Техническая норма времени - это время, необходимое для выполнения единицы работы, исходя из рационального использования в данных условиях производства труда рабочего и орудий труда с учетом передового производственного опыта.

Технические нормы служат основой для определения требуемого количества оборудования и его загрузки, производственной мощности участков и цехов, расчета основных показателей по труду и заработной плате, а также являются основой оперативного (календарного) планирования.

Опытно-статистический метод нормирования, применяемый в условиях единичного и мелкосерийного производства предполагает установление нормы времени на всю операцию в целом путем сравнения выполняемой работы с нормами выполнения в прошлом аналогичной работы.

Эти нормы, как правило, являются заниженными и не отвечают задачам вскрытия резервов производства и повышения производительности труда.

Технические норм :

- 1) предусматривают использование передового опыта;
- 2) обеспечивают полное использование имеющихся средств производства и рабочего времени;
- 3) обеспечивают однородность норм по «жесткости», что исключает появление неоправданно высокой или чрезмерно низкой оплаты труда, приводящих к дезорганизации производства;
- 4) устраняют конфликты и споры о правильности норм, имеющие место при опытно-статистическом нормировании.

В условиях единичного и мелкосерийного производств определение норм времени производится по укрупненным нормативам или по типовым нормам, составленным аналитическим методам для типовых технологических процессов.

Затраты рабочего времени подразделяют на *нормируемые* и *ненормируемые*.

Нормируемые затраты времени включают:

- оперативное время;
- время обслуживания рабочего места;
- время перерывов;

подготовительно-заключительное время.

Норма подготовительно-заключительного времени $T_{ПЗ}$ включает в себя затраты времени на подготовку к заданной работе и выполнение действий, связанных с ее окончанием:

- а) получение материалов, инструментов, приспособлений, технологической документации и наряда на работу;
- б) ознакомление с работой, изучение технологической документации, чертежа, получение необходимого инструктажа;
- в) установка инструментов, приспособлений, наладка оборудования;
- г) снятие приспособлений и инструментов со станка и сдача их на склад;
- д) сдача готовой продукции, остатков материала, документации и наряда.

Подготовительно-заключительное время затрачивается один раз на всю обрабатываемую партию, изготавливаемых без перерыва по данному наряду и не зависит от числа деталей в партии.

Норма оперативного времени $T_{ОП}$ - это норма времени на выполнение технологической операции, состоящая из суммы норм основного времени - T_0 и неперекрываемого вспомогательного времени - $T_в$:

$$T_{ОП} = T_0 + T_в.$$

Основное время T_0 представляет собой время, в течение которого осуществляется формообразование детали, то есть, изменение размеров и формы заготовки, внешнего вида и шероховатости поверхностей, состояния поверхностного слоя или взаимного расположения отдельных частей сборочной единицы и т.п.

При всех станочных работах *основное время* определяется отношением расчетной величины пути, пройденного обрабатывающим инструментом, к его минутной подаче.

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{S_{\text{мин}}} = \frac{L \cdot i}{nS}$$

где L - расчетная длина пути инструмента, мм;

$$L = l + l_1 + l_2 + \Delta$$

где:

l - длина обрабатываемой поверхности;

l_1 - величина врезания инструмента, мм;

l_2 - величина перебега инструмента, мм;

i - число рабочих ходов;

$S_{\text{мин}}$ - минутная подача, мм/мин;

n - частота вращения шпинделя или фрезы, мин^{-1} ;

S - подача на один оборот шпинделя или фрезы, мм/об;

Δ - поправка на безударный подход режущего инструмента.

Принимается равной $\Delta=0,5 \dots 3$ мм.

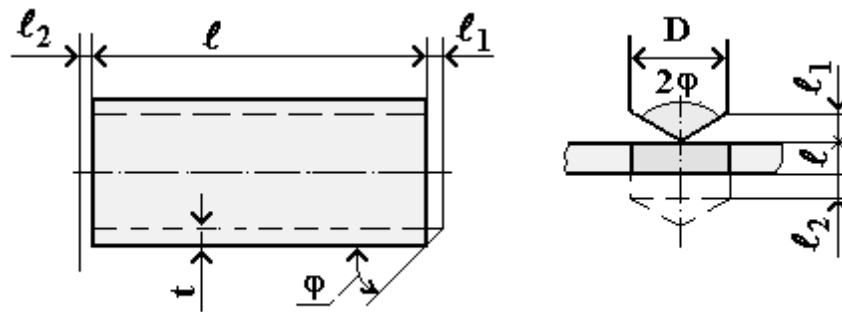


Рисунок 6.4 Определение величины рабочего хода инструмента.
а) для токарной обработки; б) для сверления

Величину l_1 определяют из геометрических соображений (см. рисунок).

Величину l_2 принимают равной порядка $l_2=0,5-1$ мм.

Норма вспомогательного времени T_v - время действий, необходимых для выполнения основной работы, и повторяющихся с каждым изделием или через определенное их число (установка и снятие изделия, пуск и выключение станка, подвод и отвод инструмента, перемещение стола или суппорта, промеры изделия, смена инструмента или его переустановка, если это производится на каждое изделие или через определенное их число).

Вспомогательное время определяется суммированием его составляющих элементов, приведенных в таблицах нормативов по техническому нормированию.

Время обслуживания рабочего места $T_{об}$ представляет собой часть штучного времени, затрачиваемую исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии, уход за ними и за рабочим местом.

В условиях массового производства время обслуживания рабочего места подразделяется на *время технического и время организационного обслуживания*.

Время технического обслуживания T_{tex} - это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом (оборудованием) (смена затупившихся инструментов, регулировка положения инструментов, подналадка оборудования в процессе работы, удаление стружки и т. п.). Время технического обслуживания определяют в процентах от оперативного времени (1-7)% .

Время организационного обслуживания $T_{орг}$ - это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом в течение рабочей смены (время на раскладку и уборку инструмента в начале и в конце смены, время на осмотр и опробование оборудования, время на его смазку и чистку и т. п.). Время организационного обслуживания определяется в процентах от оперативного времени (1-4)%.

Время перерывов $T_{пер}$ (2-4)% - это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и отдых.

В машиностроении норма времени обычно устанавливается на технологическую операцию.

Таким образом, *норма времени* (штучное время) включает:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{отд} = T_{оп} + T_{обс} + T_{отд}$$

или

$$T_{шт} = T_{оп} \left(1 + \frac{K}{100} \right)$$

где **K** - процент оперативного времени на обслуживание рабочего места (техническое и организационное), отдых и личные потребности рабочего.

В норму штучного времени не включаются затраты времени на работы, которые могут быть выполнены в течение автоматической работы оборудования, т.е. могут быть перекрыты машинным временем.

Штучно-калькуляционное время $T_{шт.к.}$ - состоит из нормы подготовительно-заключительного времени на партию обрабатываемых

изделий $T_{пз}$ и нормы штучного времени $T_{шт}$. Используется в единичном и серийном производстве

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз} / n$$

где n - количество деталей в обрабатываемой партии.

Значения коэффициента K принимается согласно нормативам.

Определение величины вспомогательного времени $T_{всп.}$.

Вспомогательное время подразделяют на :

- время, связанное с установкой заготовок;
- время, связанное с переходом (на управление станком, смену режущего инструмента, установкой его на размер);
- - время, связанное с измерением.

При определении $T_{всп.}$ учитывают: применяемое оборудование, способ его установки и закрепления, габариты и масса заготовки, точность размеров.

При проектировании необходимо учитывать, что $T_v < T_o$.

Коэффициент основного времени :

$$K_o = T_o / T_{шт.}$$

$K_o > 0,7$ - для массового и крупносерийного производства;

$K_o = 0,5$ - для мелкосерийного.

Для уменьшения $T_{всп.}$ применяют быстросействующие приспособления, совмещают вспомогательное время с основным и т.д.

Понятие о хронометраже и ФРД.

Хронометраж - способ изучения технических операций и $T_{оп.}$, путем наблюдений и измерений циклически повторяющихся элементов непосредственно на рабочем месте. Его применяют для: разработки нормативов, изучения состава оперативного времени по элементам, выявления причин невыполнения норм, для обобщения и внедрения передового опыта.

ФРД (фотография рабочего дня)- способ изучения затрат времени, путем измерений всех элементов рабочего времени и его потерь, на протяжении всей смены или ее отдельной части.

Ее применяют для: выявления причин потерь рабочего времени с целью повышения производительности, разработки нормативов и т.д.

Норма выработки- количество продукции в единицу времени (смена, час).

$$H_v = T_{см.}/T_{шт}$$

6.4. Оформление технологической документации

Требования по оформлению технологической документации зависят от типа производства, стадии разработки ТП и регламентированы ГОСТ 3.1102-81, 3.1404-86, 3.1118-82 и др.

В соответствии с ГОСТ 3.1102-81 основные технологические документы бывают: *общего и специального назначения*.

Документы *общего назначения*: карта эскизов (КЭ) - содержащая эскизы, схемы, таблицы для пояснения ТП, операции или перехода, включая контроль и перемещения; технологическая инструкция (ТИ) - для описания ТП методов и приемов, повторяющихся при изготовлении изделий; правил эксплуатации средств технического оснащения (применяют для сокращения объема разрабатываемой технологической документации).

Документы *специального назначения* описывают ТП.

1. *Маршрутная карта (МК)* является основным и обязательным документом комплектов на единичные, типовые (групповые) ТП, в котором описывают весь ТП в последовательности выполнения операций.

Информацию записывают в технологической последовательности с возможностью переноса (кроме А и Б) на последующие строки.

- А** Наименование операции
- Б** Наименование оборудования
- О** Содержание операции по переходам
- Т** Применяемая технологическая оснастка (приспособление, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, слесарно - монтажный инструмент, специальный инструмент, средства измерений).
- Р** Режимы обработки ($I=1$, $t=0,5\text{мм}$; $S=0,1\text{ мм/об}$; $V=80\text{ мм/мин}$; $n=800\text{ мин-1}$)

В МК указывают число одновременно применяемых единиц технологической оснастки, коды (операций, оборудования), объем партии (ОП), подготовительно - заключительное и штучное время, массу заготовки и детали, норму расхода, материал.

Для типовых и групповых ТП в МК указывают только постоянную информацию, относящуюся ко всей группе заготовок.

Для записи применяют специальные бланки по ГОСТ3.1118-82 (формы 1 и 2), записи должны делаться чертежным шрифтом, высота букв 5-8 мм. Возможны два случая использования МК: для маршрутного и маршрутно-операционного описания.

Вместо МК допускается использовать соответствующие карты технологического процесса (КТП), которые предназначены для операционного описания ТП по всем операциям одного вида формообразования, обработки, сборки или ремонта с указанием переходов, режимов, средств технического оснащения, материальных и трудовых затрат.

(КТТП) - карта типового технологического процесса предназначена для описания типовых или групповых ТП.

ТЛ - титульный лист оформляют на отдельные ТП или группы ТП.

2.Операционная карта (ОК) - применяется для описания технологических операций с указанием последовательности переходов, данных о средствах технологического оснащения, режимах и трудозатратах.

ОК оформляют на форматах МК2 и 16 (ГОСТ3.1118-82), условное обозначение такого документа МК/ОК. Их применяют при разработке

единичных ТП, в них указывают данные по технологическим режимам. Объем данных должен быть настолько полным, чтобы их было достаточно для выполнения операций с заданным качеством.

3. Карты типовой (групповой) операции (КТО) - используют для описания типовой (групповой) операции с указанием последовательности выполнения переходов и общих данных о технологической оснастке и режимах. КТО оформляют на формах МК ф.2 и 1б (ГОСТ3.1118-82), их условное обозначение МК/КТО.

В МК/КТО восстановления типовой поверхности дополнительно приводят инструктивные указания в текстовой форме (при необходимости с рисунками).

4. Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому ТП (операции) ВТП предназначена для указания состава деталей или типоразмеров поверхностей, восстанавливаемых по типовому ТП (операции) и переменных данных, о материале, средствах технического оснащения, режимах и трудозатратах. ВТП (ВТО) оформляют также на формах МК 1б и 2 ГОСТ3.1118-82 с условным обозначением МК/ВТП (МК/ВТО).

При разработке типовых ТП в МК/ВТО дают полную запись необходимых данных по технологическим режимам (последние указывают в табличной форме), указывают (при необходимости) достигаемые размеры и качественные показатели (после обработки), приводят также и промежуточные размеры и их точность.

5. Ведомость технологических документов (ВТД) определяет состав технологических документов, применяемых при изготовлении или восстановлении деталей, и предназначена для их комплектования.

ВТД является обязательной, если в документации даны ссылки на типовой ТП.

ВТД можно оформлять на формах МК2 и 1б ГОСТ3.1118-82, тогда его условное обозначение МК/ВТД; запись выполняется в строгом порядке следования ссылок.

6. Ведомость оснастки (ВО) составляется на конкретный ТП и оформляется также на формах МК 2 и 1б, с условным обозначением МК/ВО.

7. Карты эскизов (КЭ) – кроме бланков специальной формы, допускаются оформлять на бланках МК2 и 1б ГОСТ3.1118-82, с условным обозначением МК/КЭ.

В зависимости от типа производства (соответственно и программы выпуска), сложности и точности заготовок применяют следующие *формы описания ТП*.

а) *маршрутное* - когда приводится сокращенное описание всех технологических операций в МК в последовательности их выполнения без указания переходов и режимов. Его применяют для единичного, мелкосерийного и опытного производства.

б) *операционное* - когда полностью раскрываются содержание операции с указанием всех переходов и режимов. Его применяют для массового и серийного производства, а также для особо сложных деталей мелкосерийного и даже единичного производства.

в) *маршрутно-операционное* - когда приводится сокращенное описание технологических операций в МК в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах (рекомендуется для серийного, мелкосерийного и опытного производства со сложными и точными заготовками).

7. РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

7.1. Задачи и необходимость размерного анализа.

Одной из главных задач размерного анализа технологических процессов (ТП) является правильное и обоснованное определение *промежуточных и окончательных технологических размеров и допусков* на них для обрабатываемой детали.

При разработке ТП механической обработки деталей на налаженных станках в условиях серийного и массового производств на каждую операцию обычно составляют операционный эскиз. На этом эскизе технолог указывает условными знаками базирующие поверхности, а также поверхности с размерами и допусками, обрабатываемыми на данной операции. Эти размеры могут быть промежуточными или окончательными. Все они получаются в результате выполнения данной операции, устанавливаются технологом и называются технологическими.

Окончательные технологические размеры могут совпадать или не совпадать с конструкторскими, как конструктор при простановке размеров на чертеже детали не всегда имеет возможность учитывать технологию ее изготовления и станки, на которых она будет обрабатываться. Между тем, технология обработки детали и применяемое станочное оборудование оказывают существенное влияние на простановку размеров на детали.

Например, последовательность выполнения размеров длин у ступенчатого вала будет различна при обработке на токарном станке, на револьверном, на многорезцовом полуавтомате, на гидрокопировальном полуавтомате и на станке с программным управлением. В зависимости от типа станка, используемого для обработки ступенчатого вала, должна производиться и соответствующая простановка размеров. В одних случаях необходимо размеры всех ступеней указывать от одной измерительной базы, в других случаях - для ряда ступеней от торца вала, в третьих - в виде цепочки от торца и т. п.

Обычно на линейные размеры деталей, входящих в сборочные размерные цепи, конструктор устанавливает допуски и предельные отклонения на основании расчета сборочных размерных цепей. Поэтому всякое произвольное расширение полей допусков и предельных отклонений на эти размеры по каким-либо технологическим соображениям недопустимо.

При выполнении размеров длин в процессе механической обработки обычно участвуют две поверхности, из которых одна подвергается обработке, а другая является той поверхностью, от которой должен быть выдержан требуемый размер. При работе на предварительно настроенных станках от этой поверхности настраиваются режущий инструмент или упор станка. Поэтому эта поверхность носит название настроечной базы.

При обработке *одной поверхности одним инструментом*, то при работе на настроенных станках в качестве настроечной базы обычно используется технологическая база детали.

При многоинструментальной обработке, когда одновременно обрабатывается несколько поверхностей разными инструментами, а также при многопозиционной обработке на полуавтоматах и агрегатных станках, в качестве настроечных баз используются две поверхности. Одна из них совпадает с технологической базой. От этой поверхности настраивается один из режущих инструментов, а обработанная этим инструментом поверхность будет служить настроечной базой для всех остальных инструментов.

Технологические и настроечные базы могут совпадать или не совпадать с конструкторскими базами, т.е. с поверхностями, от которых указаны размеры на чертеже детали. При несовпадении технологических и настроечных баз с конструкторскими, технолог вынужден производить пересчет размеров и допусков и проставлять на операционном эскизе обрабатываемой детали технологические размеры. Если на конструкторские размеры установлены *жесткие* допуски, то пересчет размеров от новых баз может привести к получению трудновыполнимых допусков на технологические размеры.

Например, при обработке валика на автомате или на револьверном станке пришлось бы пересчитать размеры и допуски, так как настроечная база 3 не совпадает с конструкторской (поверхность 1).

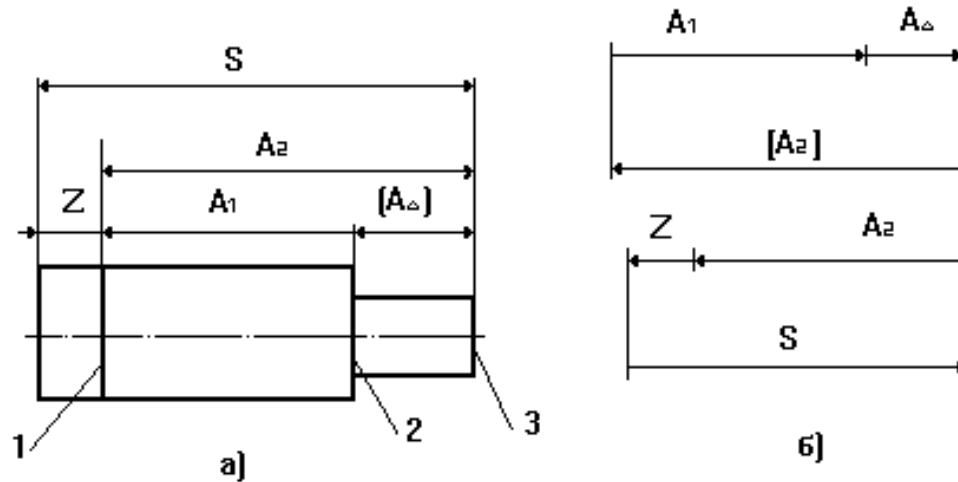


Рисунок 7.1 Схемы технологических размерных цепей при обработке вала на револьверном станке.

A_1, A_2 - конструкторские размеры;
 A_Δ, S, Z - технологические размеры

По чертежу замыкающим звеном *подетальной размерной цепи* является размер $A_\Delta = A_2 - A_1$ и допуск на него будет равен сумме допусков на размеры A_1 и A_2 .

Чтобы обеспечить заданные допуски на размеры A_1 и A_2 , необходимо вести обработку детали в следующем порядке: отрезать заготовку на размер A_2 , затем обработать поверхность 1, выдержав размер A_1 от поверхности 1, и размер A_Δ получится сам собой.

При обработке этой детали на автомате или *револьверном станке* такая последовательность невозможна. В данном случае настроечной базой будет поверхность 3, поэтому сначала нужно обточить поверхность 1 на размер A_Δ , выдерживая его от поверхности 3, а затем отрезать деталь в размер A_2 по чертежу. Здесь настроечная база не совпадает с конструкторской и при указанной последовательности обработки поверхностей детали замыкающим

звеном технологической размерной цепи будет уже не размер A_{Δ} , а размер A_1 , который получается сам собой в результате выполнения размеров A и A_2 .

Чтобы обеспечить заданный по чертежу (рисунок 7.1) допуск на размер A_1 , пришлось бы установить трудно выполнимые допуски на размеры A_{Δ} и A_2 так как необходимо, чтобы выполнялось условие $\delta_{A_1} = \sum \delta_i$.

Для этого потребовалось бы ужесточить допуски, что может оказаться практически невыполнимо. Поэтому возникает необходимость ввести дополнительную обработку поверхности 1 с использованием для этой операции в качестве настроечной базы поверхности 2, оставив припуск Z на поверхности 1. При такой схеме обработки валика в две операции замыкающим звеном технологической размерной цепи будет размер A_2 , так как размер A обеспечивается на первой операции, размер A_1 - на второй, а размер A_2 получается сам собой. В этом случае необходимо установить такой допуск на размер A_{Δ} , чтобы выполнялось равенство: $\delta_{A_2} = \delta_A + \delta_{A_1}$. Этот допуск уже должен быть выполнимым при обработке на автомате или револьверном станке.

При схеме обработки валика в две операции возникает необходимость в определении промежуточного технологического размера S . Для этого нужно рассчитать технологическую размерную цепь, в которой замыкающим звеном является припуск $Z = S - A_2$.

Рассмотренный пример показывает, что размеры, установленные конструктором на чертеже детали, уже предопределяют последовательность обработки отдельных поверхностей, связанных между собой линейными размерами. Но эта последовательность не всегда выполнима при обработке заготовки детали на предварительно настроенных станках, так как технологические и настроечные базы не всегда могут совпадать с конструкторскими базами. В связи с этим и возникает необходимость размерного анализа для выполнения отдельных операций и переходов.

Определение технологических размеров и допусков на них должно производиться на основе выявления и расчета технологических размерных цепей, выражающих связь размеров обрабатываемой детали по мере выполнения технологического процесса. Однако в результате расчета технологических размерных цепей (ТРЦ) может оказаться, что принятая последовательность обработки отдельных поверхностей заготовки детали является нерациональной, так как допуски на технологические размеры получаются трудно выполнимыми.

В этом случае необходимо пересмотреть порядок обработки поверхностей детали и установить такой, при котором осуществлялась бы возможность максимального совмещения технологических, настроечных и конструкторских баз.

Таким образом, размерный анализ ТП на основе выявления и расчета ТРЦ позволяет не только устанавливать технологические размеры и допуски на них, но и более обоснованно разделить процесс на операции и переходы.

Некоторые поверхности заготовок деталей могут подвергаться обработке на нескольких переходах или операциях в зависимости от требуемой шероховатости и точности обработки.

В этом случае оставляется припуск на последующий переход или операцию и устанавливается необходимый промежуточный технологический размер. Для определения этого размера необходимо рассчитать технологическую размерную цепь, у которой замыкающим звеном является припуск.

Припуск должен быть предварительно установлен либо в виде минимального, либо в виде номинального его значения по соответствующим справочникам технолога или расчетом.

Задачи размерного анализа технологических процессов это определение:

- технологических размеров и допусков на них для каждого технологического перехода;
- предельных отклонений размеров, припусков и расчет размеров заготовок;

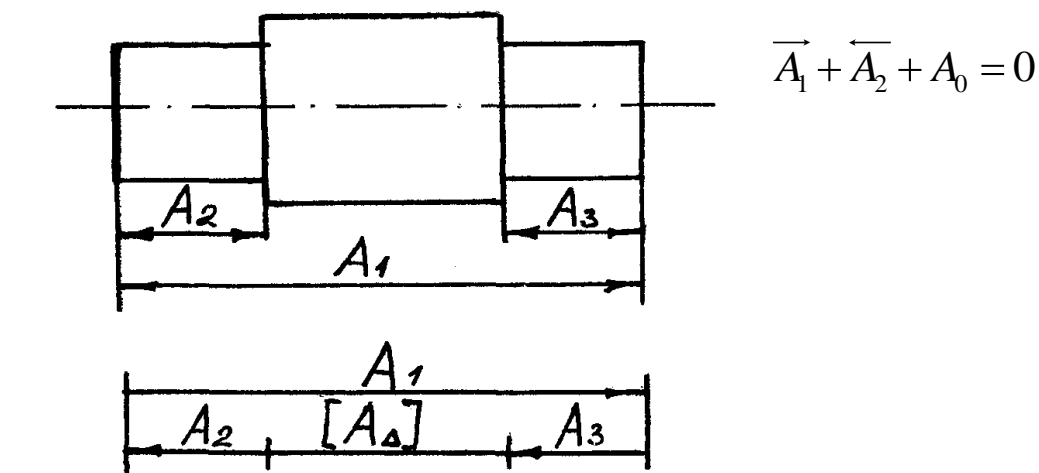
- наиболее рациональной последовательности обработки отдельных поверхностей детали, обеспечивающей требуемую точность размеров.

Решение всех этих задач возможно лишь на основании выявления и расчета ТРЦ. Для выявления технологических размерных цепей необходимо предварительно разработать технологический процесс обработки заготовки детали и на его основе составить размерную схему процесса.

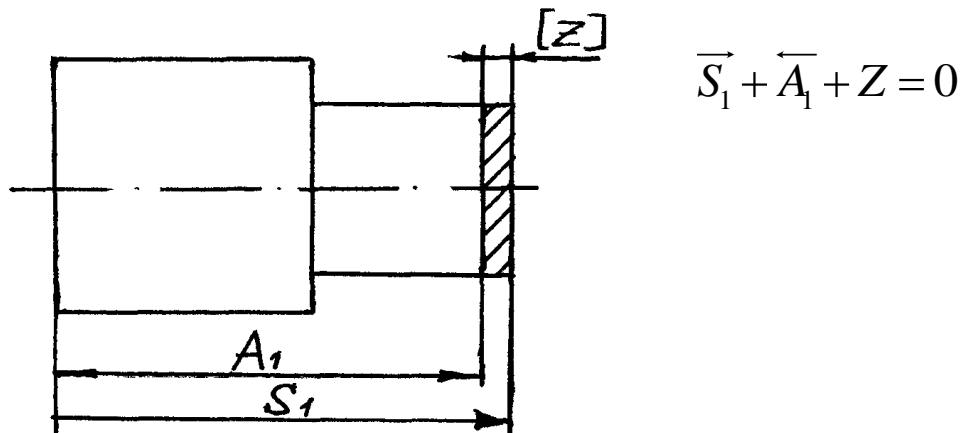
7.2. Виды размерных цепей.

ГОСТ16319-(80) регламентирует следующие виды РЦ:

Конструкторские РЦ



Технологические РЦ



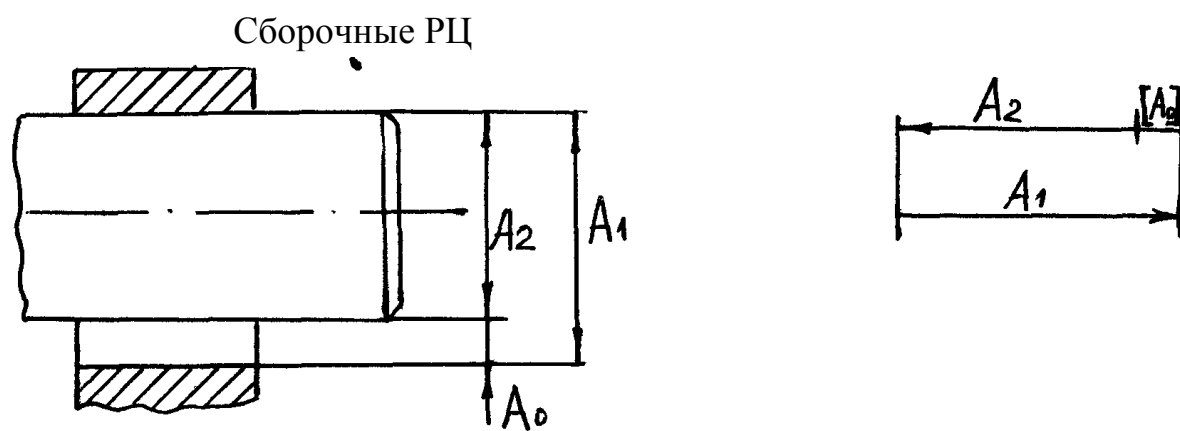


Рисунок 7.2 Виды размерных цепей.

7.3. Порядок построения размерной схемы ТП.

Размерная схема ТП строится следующим образом.

Вычерчивается эскиз детали и заготовки в одной или двух проекциях, в зависимости от ее конфигурации.

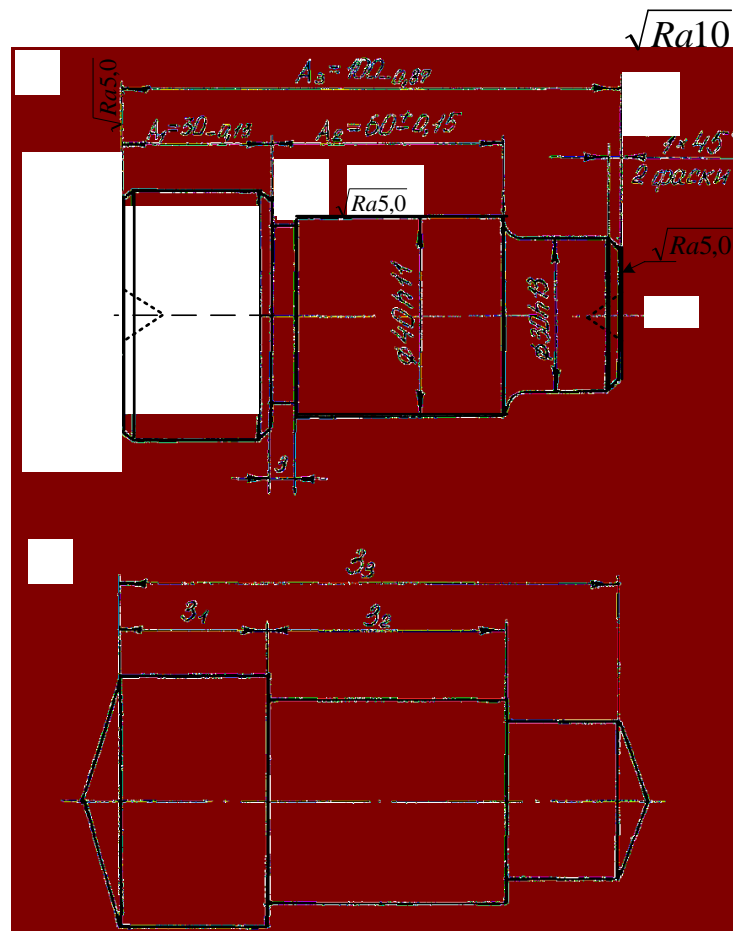


Рисунок 7.3 Эскизы детали и исходной заготовки

Для тел вращения достаточно одной проекции, при этом можно вычертить только половину детали по оси симметрии.

Для корпусных деталей может потребоваться две или даже три проекции в зависимости от расположения размеров длин.

Над деталью указываются размеры длин с допусками, заданные конструктором.

Для удобства составления размерных цепей, конструкторские размеры обозначаются буквой A_i , где i - порядковый номер конструкторского

размера. На эскиз детали условно наносятся припуски Z_m , где m - номер поверхности, к которой относится припуск.

Для снижения вероятности ошибок целесообразно выполнить эскизы операций и получаемые технологические размеры.

Вариант ТП

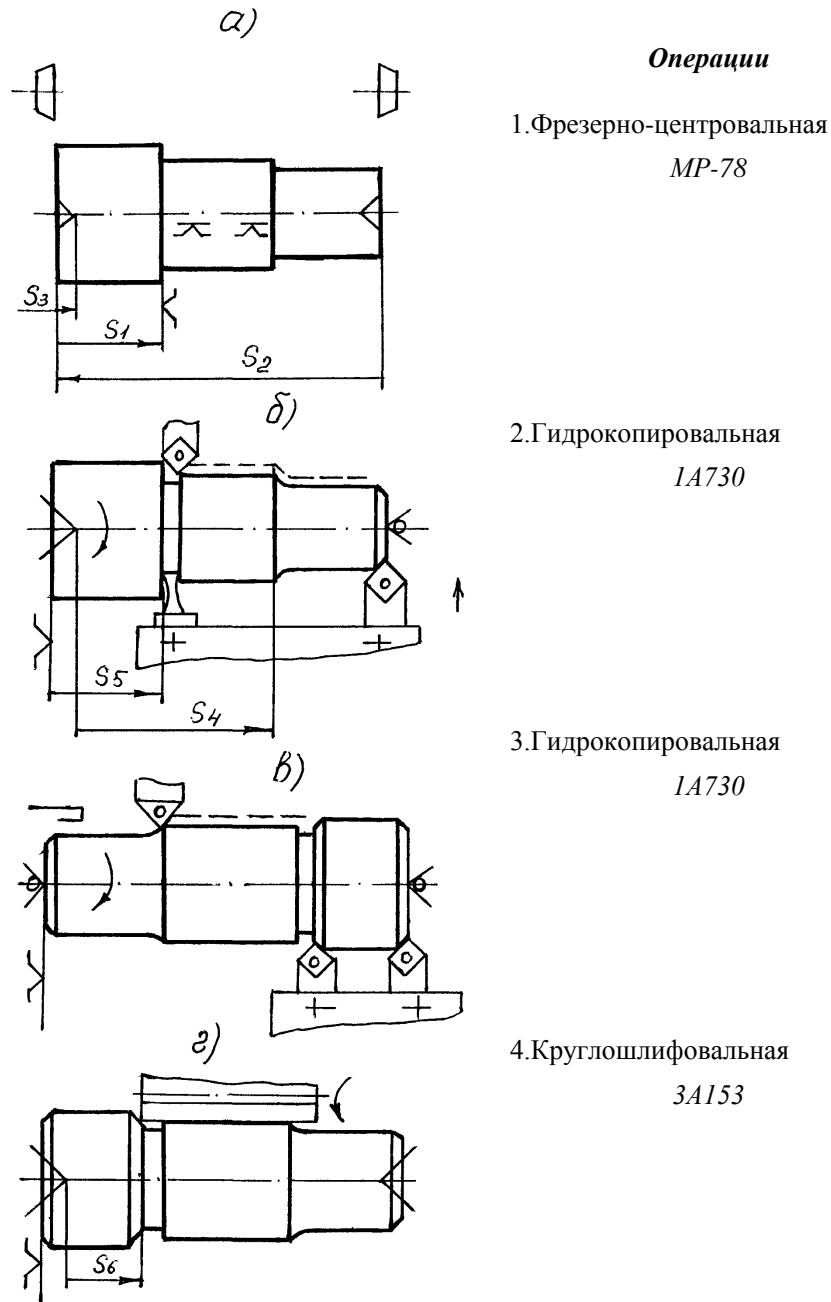


Рисунок 7.4 Вариант разработанного технологического процесса (ТП)

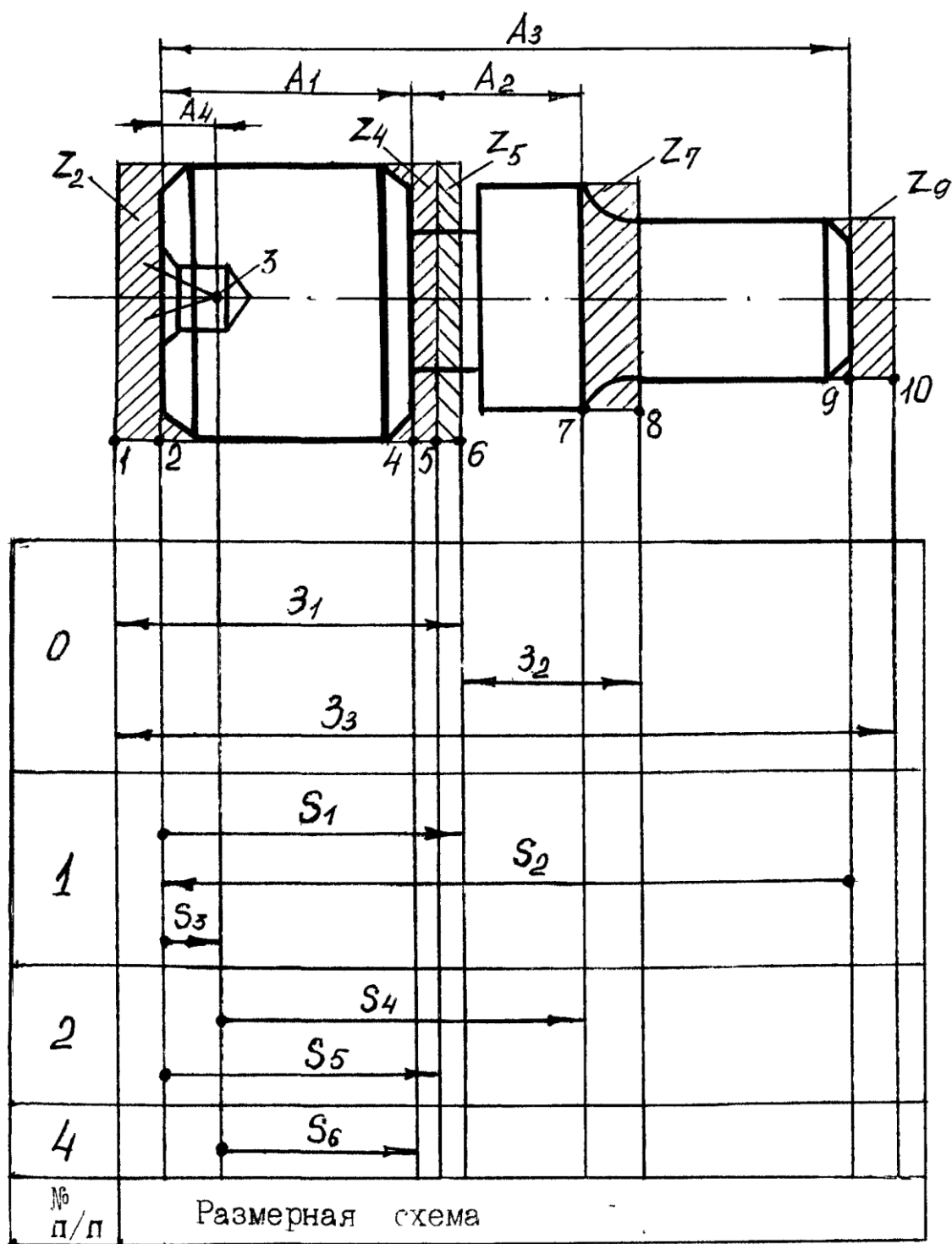


Рисунок 7.5 Размерная схема ТП

Все поверхности детали нумеруются по порядку слева направо.

Через нумерованные поверхности проводятся вертикальные линии.

Между вертикальными линиями, снизу вверх, указываются технологические размеры, получаемые в результате выполнения каждого технологического перехода.

Технологические размеры обозначаются буквой S_i , размеры исходной заготовки - буквой Z_i .

Для каждой операции составляются схемы технологических размерных цепей. Если технологический размер совпадает с конструкторским, то получаем двухзвенную размерную цепь. Замыкающие звенья на всех схемах размерных цепей заключаются в квадратные скобки,

Выявление размерных цепей по размерной схеме начинается с последней операции, т.е. по схеме сверху вниз. В такой же последовательности производится и расчет размерных цепей. При этом необходимо, чтобы в каждой новой цепи был неизвестен только один размер.

На основании составленных схем размерных цепей производится определение типов составляющих звеньев и составление исходных уравнений, а затем их расчет.

Выявление размерных цепей непосредственно по размерной схеме технологического процесса в ряде случаев может оказаться весьма трудоемкой задачей, так как ТРЦ часто являются *связанными* размерными цепями. Поэтому необходимо, чтобы в каждой размерной цепи был только один конструкторский размер или один размер припуска, которые являются замыкающими звеньями технологических размерных цепей.

Трудности выявления ТРЦ непосредственно по размерной схеме объясняются тем, что они выступают на схемах не явно, а в скрытом виде. Поэтому выявление их носит чисто умозрительный характер. Процесс выявления ТРЦ можно значительно облегчить, используя для этой цели теорию графов.

7.4.Выявление ТРЦ при помощи графов

Деталь можно рассматривать как геометрическую структуру, состоящую из множества поверхностей и связей (размеров) между ними. В процессе изготовления детали ее структура претерпевает изменения.

Поэтому такую структуру целесообразно изучать при помощи графов. Приоритет в области использования методов теории графов для выявления и расчета технологических размерных цепей принадлежит Б. С. Мордвинову.

Неориентированный граф



Ориентированный граф



Рисунок 7.6 Схемы неориентированного и ориентированного графов.

Если принять поверхности заготовки и детали за вершины, связи между ними (размеры) за ребра, то чертеж детали с конструкторскими и технологическими размерами можно представить в виде двух графов (деревьев).

Дерево с конструкторскими размерами и размерами припусков на обработку называется *исходным*.

Дерево с технологическими размерами и размерами исходных заготовок называется *производным* или технологическим.

Исходный граф

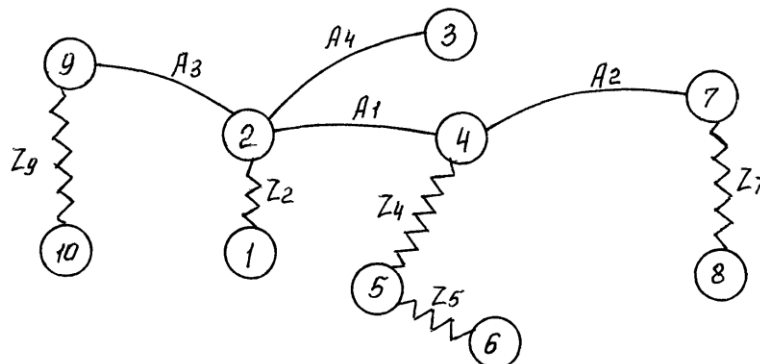


Рисунок 7.7 Схема исходного графа.

Производный граф

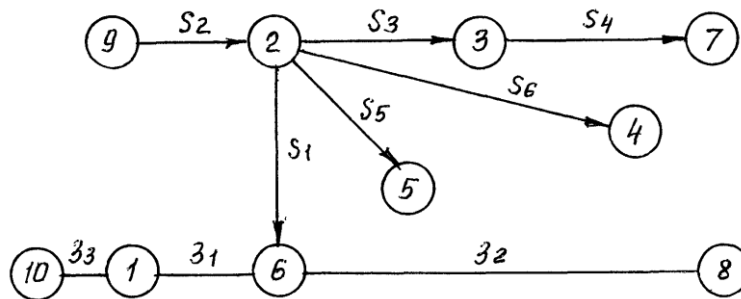


Рисунок 7.8 Схема производного графа.

Если теперь оба дерева совместить, то такой совмещенный граф позволяет в закодированной форме представить геометрическую структуру ТП обработки детали и является его математической моделью.

В таком графе все размерные связи и ТРЦ из неявных превращаются в явные. Появляется возможность, не прибегая к помощи чертежа, а пользуясь только той информацией, которую несет граф, производить все необходимые расчеты.

Совмещенный граф

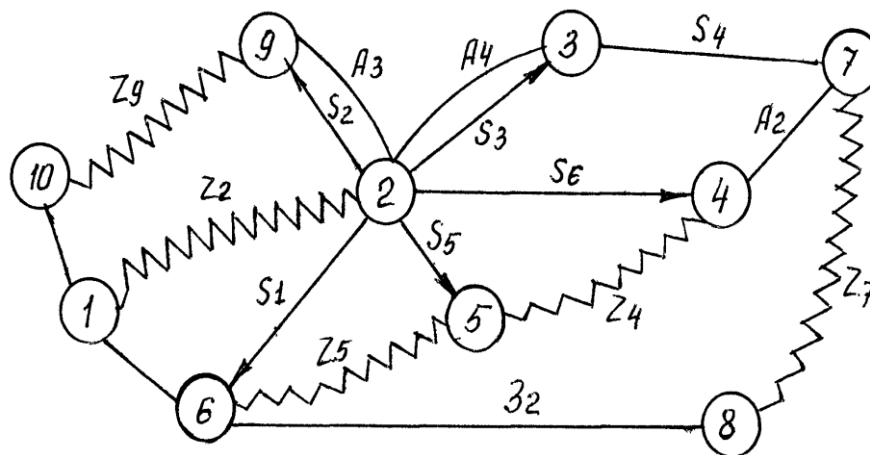


Рисунок 7.9 Схема совмещенного графа.

Любой замкнутый контур на совмещенном графе, состоящий из ребер исходного и производного деревьев, образует ТРЦ.

В этой цепи ребро исходного дерева является *замыкающим звеном*, а ребра производного дерева - *составляющими звеньями*.

В терминах теории графов размерная цепь - это путь в производном дереве, заданный ребром исходного дерева. Чтобы указать путь, надо

перечислить ребра, по которым надлежит идти. Если известны длины ребер (размеры, допуски) производного дерева в данной цепи, то можно найти и длину пути, т. е. размер или допуск замыкающего звена.

7.5.Проверка правильности построения графов и запись уравнений ТРЦ

Каждая размерная цепь образует цикл. В каждой размерной цепи одно ребро должно быть ребром исходного дерева (конструкторский размер или припуск), а остальные ребра - ребрами производного дерева, то есть технологическими размерами.

Кратчайшим циклом является цикл из двух ребер. Ему соответствует двухзвенная размерная цепь, в которой ребро исходного дерева (конструкторский размер) является замыкающим звеном, а ребро производного дерева (технологический размер) - составляющим звеном.

Ребра производного дерева изображаются в виде прямых линий со стрелками на конце, показывающими, в какую вершину они входят. Ребра исходного дерева изображаются в виде дуг, если они являются конструкторскими размерами, или в виде волнистых линий, если они являются размерами припусков.

Для построения производного дерева в качестве корня следует выбирать вершину (поверхность), к которой по размерной схеме процесса не подходит ни одна стрелка.

Ребра исходного дерева в отличие от ребер производного дерева, как было указано ранее, изображаются в виде дуг и волнистых линий. Дуги обозначают конструкторские размеры, а волнистые линии - размеры припусков. Так как ребра исходного дерева не ориентированы, то они указывают лишь на то, какие вершины дерева связаны между собой конструкторскими размерами или размерами припусков.

Проверка правильности построения исходного и производного графов:

1. число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме технологического процесса;

2. число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равно числу вершин без единицы;
3. к каждой вершине производного дерева, кроме корневой, должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине - ни одной стрелки;
4. деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

Любой замкнутый контур совмещенного графа образует размерную цепь, у которой ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра производного дерева - составляющими звеньями.

Так как в размерной цепи может быть только одно звено замыкающим, а в качестве такого в технологической размерной цепи является только конструкторский размер или припуск, то при выявлении размерных цепей по графу необходимо выбирать такие контуры, в которых бы содержалось только по одному ребру исходного дерева, а остальные ребра принадлежали бы производному дереву.

Общее число размерных цепей на графе должно быть равно числу технологических размеров по размерной схеме процесса.

Правило знаков:

Замыкающему звену присваивается знак минус; и начиная от этого звена, производят обход замкнутого контура (составляющих звеньев) в определенном направлении, начиная с вершины с меньшим порядком номера. Если в направлении обхода следующее ребро цепи будет соединять вершину меньшего порядкового номера с вершиной большего номера, то ребру присваивается *знак плюс*; если же ребро соединяет вершину большего номера с вершиной меньшего номера, то ему присваивается *знак минус*.

Выявление и расчет технологических размерных цепей по графу начинается с двухзвенных цепей, а затем в такой последовательности, чтобы в каждой цепи имелось только одно неизвестное по величине звено, а остальные звенья ее были бы уже определены в результате расчета предыдущих размерных цепей.

Для выполнения этого условия необходимо начинать выявление и расчет размерных цепей в последовательности, обратной выполнению операций и переходов, т.е. начинать с последней операции и последнего перехода и заканчивать первым переходом или размером заготовки.

Для графа (см. рисунок) последовательность выявления и расчета размерных цепей с указанием их расчетных и исходных уравнений и определяемого размера приводятся в таблице 7.1.

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Определяемый размер
1	$-A_1 + S_6 = 0$	$A_1 = S_6$	S_6
2	$-A_4 + S_3 = 0$	$A_4 = S_3$	S_3
3	$-A_3 - S_2 = 0$	$A_3 = S_2$	S_2
4	$-A_2 - S_6 + S_3 + S_4 = 0$	$A_2 = -S_6 + S_3 + S_4$	S_4
5	$-Z_4 - S_5 + S_6 = 0$	$Z_4 = -S_5 + S_6$	S_5
6	$-Z_5 - S_1 + S_6 = 0$	$Z_5 = -S_1 + S_6$	S_1
7	$-Z_2 + S_1 - 3_1 = 0$	$Z_2 = S_1 - 3_1$	3_1
8	$-Z_7 - 3_2 - S_1 + S_3 + S_4 = 0$	$Z_7 = -3_2 - S_1 + S_3 + S_4$	3_2
9	$-Z_9 - S_2 + S_1 - 3_1 + 3_3 = 0$	$Z_9 = -S_2 + S_1 - 3_1 + 3_3$	3_3

Если в задачи технолога не входит определение размеров заготовок и припусков на заготовки, то изменится размерная схема ТП и граф размерных цепей могут быть использован только для установления порядка обработки поверхностей.

7.6. Расчеты технологических размерных цепей

В технологических размерных цепях число составляющих звеньев редко бывает больше четырех. Поэтому их расчет, как правило, производится по методу *максимум - минимум*.

В тех случаях, когда $n \geq 5$, используют вероятностный метод. Этот метод может быть использован и при $n < 5$, если возникает необходимость в расширении допусков на составляющие звенья. В этом случае необходимо

вводить коэффициент относительного рассеяния не только для составляющих звеньев, но также и для замыкающего звена.

Методика расчета ТРЦ зависит от того, является ли замыкающим звеном *припуск* Z_i или *конструкторский размер* по чертежу детали A_i .

1. Если замыкающим звеном является припуск Z_i , оставляемый для последующего перехода, то вначале необходимо определить его минимальную величину Z_{\min} и допуск на него по таблицам из справочника технолога [00].

$$Z_{\min} = Ra_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i,$$

Определив Z_{\min} , составляют *исходное уравнение* размерной цепи относительно Z_{\min} :

$$Z_{\min} = \sum_{j=1}^{n_i} S_{j,\min} - \sum_{q=1}^{n_q} S_{q,\max}$$

$S_{i,\min}$ -наименьший предельный размер увеличивающего звена размерной цепи;

$S_{q,\max}$ -наибольший предельный размер уменьшающего звена размерной цепи;

n_i - число увеличивающих звеньев;

n_q - число уменьшающих звеньев размерной цепи.

Так как в каждой технологической размерной цепи имеется только одно неизвестное составляющее звено, то задача сводится к решению приведенного выше уравнения Z_{\min} с одним неизвестным, представляющим собой либо наибольший, либо наименьший предельный размер искомого составляющего звена.

Обозначим определяемый размер через S_x .

Если искомый размер S_x является увеличивающим звеном, тогда находится его минимальное значение $S_{x,\min}$

$$S_{x,\min} = Z_{\min} - \sum_{j=1}^{k_j-1} S_{j,\min} + \sum_{q=1}^{n_q} S_{q,\max}.$$

Если искомый размер является уменьшающим звеном, тогда находится его максимальное значение $S_{x,\max}$

$$S_{x,\max} = \sum_{j=1}^{k_j} S_{j,\max} - \sum_{q=1}^{n_q-1} S_{q,\min} - Z_{\min}.$$

Определив величину $S_{x,\max}$ или $S_{x,\min}$ на размер S_x устанавливают допуск $TS_x =$ в зависимости от назначения технологического перехода (черновая или чистовая обработка), а исходя из допуска TS_x и по его расположению относительно S_x ($h...$, $H...$, Is), определяют *верхнее* и *нижнее* отклонения $ES_{S_x} = \dots$ и $EI_{S_x} = \dots$.

Далее определяют номинальный и недостающий размеры:

$$S_{j,\max} = S_{j,\min} + TS_x;$$

$$S_{q,\min} = S_{q,\max} - TS_x$$

Максимальный припуск замыкающего звена Z_{\max} и его номинальный размер Z .

Для этой цели составляется исходное уравнение размерной цепи относительно Z_{\max} и Z с указанием для всех составляющих звеньев предельных отклонений; суммирование номинальных размеров и предельных отклонений отдельно для увеличивающих и уменьшающих звеньев.

$$Z_{\max} = \sum_{j=1}^{k_j} S_{j,\max} - \sum_{q=1}^{n_q} S_{q,\min},$$

$$Z = \sum_{j=1}^{k_j} S_j - \sum_{q=1}^{n_q} S_q.$$

2. Если замыкающим звеном является *конструкторский размер* A_i , тогда определяется принадлежность искомого размера S_x к *увеличивающим*, или *уменьшающим* звеньям ТРЦ.

Если размер *увеличивающий*, тогда его номинальное значение

$$S_x = A_0 - \sum_{j=1}^{k-1} S_j + \sum_{q=1}^n S_q$$

Координата середины поля допуска

$$E_{Cx} = E_{CA_0} - \sum_{j=1}^k E_{Cj} + \sum_{q=1}^n E_{Cq}$$

Если размер *уменьшающийся*, тогда его номинальное значение

$$S_x = \sum_{j=1}^k S_j - \sum_{q=1}^n S_q - A_0$$

Координата середины поля допуска

$$E_{Cx} = \sum_{j=1}^k E_{Cj} - \sum_{q=1}^n E_{Cq} - E_{CA_0}$$

Затем определяется допуск T_{S_x} на искомый технологический размер S_x

$$T_{S_x} = T_{SA_0} - \sum_{i=1}^m T_{Si}$$

а затем верхнее ES и нижнее EI предельные отклонения искомого размера

$$ES_{S_x} = E_{CS_x} + \frac{TS_x}{2}; \quad \text{и} \quad EJ_{S_x} = E_{CS_x} - \frac{TS_x}{2}.$$

8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В таблице 8.1 представлены наиболее часто используемые методы обработки поверхностей и их технологические возможности.

Таблица 8.1

<i>Метод обработки поверхности</i>		<i>Достижимый КВАЛИТЕТ</i>	<i>Шероховатость, мкм Ra</i>
Точение	<i>черновое</i>	<i>12-14</i>	<i>50-6,3</i>
	<i>получистовое</i>	<i>11-13</i>	<i>25-1,6</i>
	<i>чистовое</i>	<i>8-10</i>	<i>6,3-0,4</i>
	<i>тонкое</i>	<i>6-9</i>	<i>1,6-0,2</i>
Шлифование	<i>предварительное</i>	<i>8-9</i>	<i>6,3-0,4</i>
	<i>чистовое</i>	<i>6-7</i>	<i>3,2-0,2</i>
	<i>тонкое</i>	<i>5-6</i>	<i>1,6-0,1</i>
Притирка, суперфиниширование		<i>4-5</i>	<i>0,8-0,1</i>

8.1. Сверление. Зенкерование. Развертывание.

Достижимый квалитет точности и шероховатость во многом определяются режимами обработки, свойствами обрабатываемого материала и целым рядом других факторов. Поэтому рассмотрим кратко сущность и возможности наиболее часто используемых в машиностроении методов обработки поверхностей.

Сверление. При сверлении и рассверливании обеспечивается 9-13 квалитет точности при шероховатости $R_a=0,8-25$ мкм. Допуск назначают как в плюс, так и в минус - $\delta = \pm$.

Основные погрешности - форма отверстия в продольном и поперечном направлении. Отверстия более 30 мм в сплошном материале обычно сверлят двумя и более сверлами.

Погрешность межосевого расстояния $\pm 0,2-0,5$ мм, с применением кондуктора $\pm 0,05-0,2$ мм, прецизионного кондуктора $\pm 0,04-0,1$ мм. На сверлильных станках с ЧПУ точность межцентровых расстояний - до $\pm 0,1$ мм без кондукторов. При $L=(3-5)d$ - сверлят без кондукторов.

Режимы: Скорость резания для быстрорежущих – 24-36 м/мин (0,4-0,6 м/с), а для твердосплавных сверл - более 0,8-1,2 м/с.

Подача сверл для сталей 0,1-0,6 мм/об (для сверл диаметром 5-30 мм).

По диаметру и глубине отверстия выбираются сверла, а по физико-механическим свойствам заготовки - форму и геометрию.

На ОЦ 30-50 % основного времени затрачивается на сверление отверстий.

Нормирование. При обработке пакетов заготовок или параллельного сверления несколькими сверлами одновременно несколько разных заготовок основное время

$$t_o = \frac{\sum t_{oi}}{N},$$

t_{oi} -основное время; мин.

N - число последовательно или параллельно обрабатываемых заготовок.

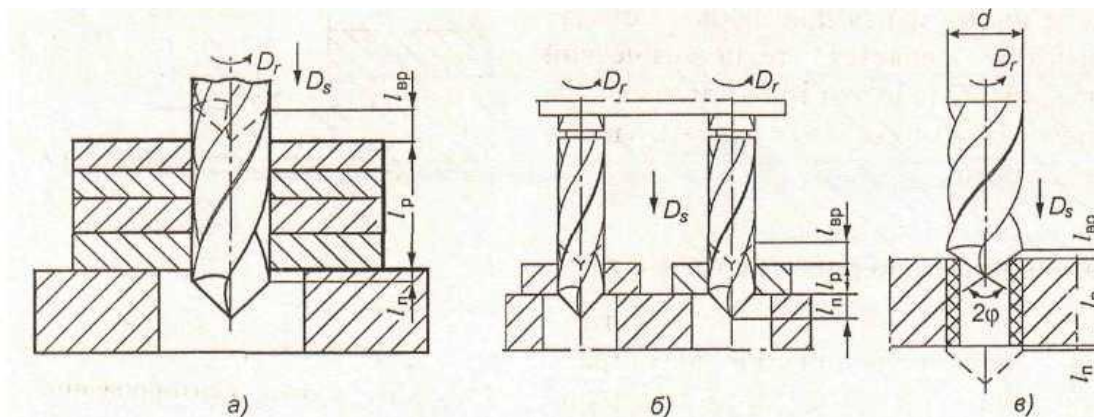


Рисунок 8.1 Схемы сверления (а, б) и рассверливания отверстия (в)

При сверлении и рассверливании сквозного отверстия в одной заготовке *основное время*

$$t_o = \frac{L_{вп} + L_c + l_n}{nS_o},$$

$L_{вп}$ -длина врезания; L_c -длина просверливаемого отверстия в заготовке; l_n -длина перегиба;

n -число оборотов; S_o -перемещение сверла вдоль оси за один оборот.

Длина врезания при сверлении и рассверливании

$$l_{вп} = \frac{d}{2} \operatorname{ctg} \varphi + (1 \dots 3). \quad \text{и} \quad l_{вп} = \frac{d - D}{2} \operatorname{ctg} \frac{2\varphi}{2} + (1 \dots 3),$$

d -диаметр сверла; D -диаметр отверстия; φ -угол при вершине сверла.

Зенкерование

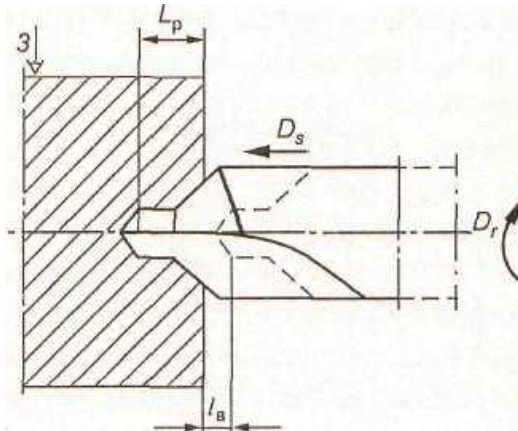


Рисунок 8.2 Схема центрирования отверстия вала комбинированным центровочным сверлом

При черновом зенкеровании обеспечивается 13-12 квалитет точности при шероховатости $R_a=25$ мкм, после чистового зенкерования - 10-8 квалитет точности и $R_a=6,3-0,4$ мкм. Допуск назначают как в плюс, так и в минус - $\pm /$

Глубина резания при зенкеровании $t=(0,05-0,1)d_3$. Подача на зуб $S_z < (0,02d_3)$.

Не рекомендуется применять комбинированные зенкеры с количеством ступеней более пяти.

Для сквозных отверстий после сверления или еще не обработанных в исходной заготовке применяют спиральные зенкеры, работающие по корке.

Отверстия под болты и другие торцевые поверхности обрабатывают цилиндрическим сверлом и зенкерами.

Конические поверхности обрабатывают коническими зенковками.

Для снятия фасок или притупления острых кромок в отверстиях заготовок одним инструментом используется пружинный зенкер.

При обработке высокопрочных материалов ($\sigma > 750$ МПа) на зенкерах используют твердосплавные режущие элементы, скорость резания в 2-3 раза по сравнению с быстрорежущими.

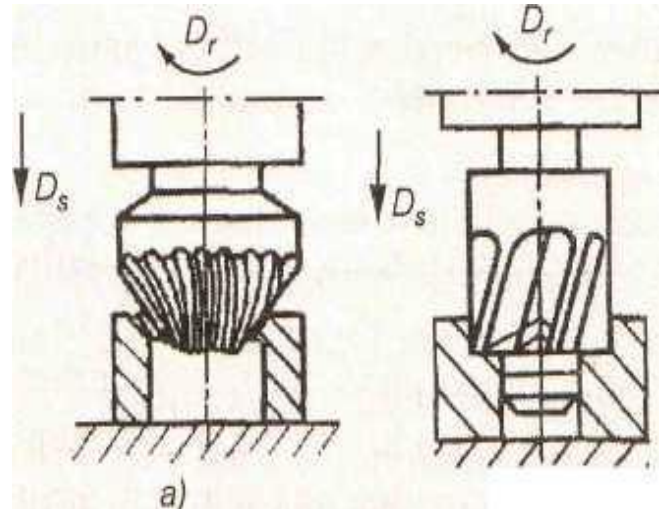


Рисунок 8.2 Схемы зенкования (а) и цекования (б)

Развертывание

У сверла две режущие кромки обеспечивают съём металла, у зенкера 3-9, у развертки 5-14 режущих кромок.

При развертывании достигается 5-6 квалитетов точности при шероховатости $R_a=3,2-0,1$ мкм.

Чистовые развертки применяют после зенкеров, их предельные отклонения соответствуют полю допуска $h8$.

Самоцентрирующиеся развертки (плавающие) представляют собой свободно вставленные в державку пластины, они не могут исправлять кривизну и положение оси.

Развертки имеют четное число режущих кромок Z_p ,

$$Z_p = 1,5\sqrt{d_p} + K,$$

d_p -диаметр развертки; K -коэффициент (для вязких материалов $K=2$, для хрупких - $K=4$).

Глубина резания t при развертывании (0,1-0,4 мм) или $0,005D$ (D -диаметр отверстия), а подачу S_o рассчитывают

$$S_o = \frac{a_z Z}{\sin \varphi},$$

a_z -толщина срезаемого слоя ($a_z > 0,02$ мм); Z -число режущих зубьев (6-10); φ -главный угол в плане.

Подача для стали 0,5-2,0 мм/об, для чугуна - 1,0-4,0 мм/об.

Скорость резания от 0,1 до 0,27 м/с.

Под черновое развертывание оставляется припуск 0,15-0,5 мм на сторону, под чистовое 0,05-0,25 мм.

При зенкерowaniu и развертывании сквозных отверстий основное время

$$T_o = \frac{l_{вр} + l_p + l_{п}}{nS_o},$$

где $l_{вр}$ -длина врезания; l_p -длина обрабатываемого отверстия; $l_{п}$ -длина перебега; n -частота вращения шпинделя; S_o -подача.

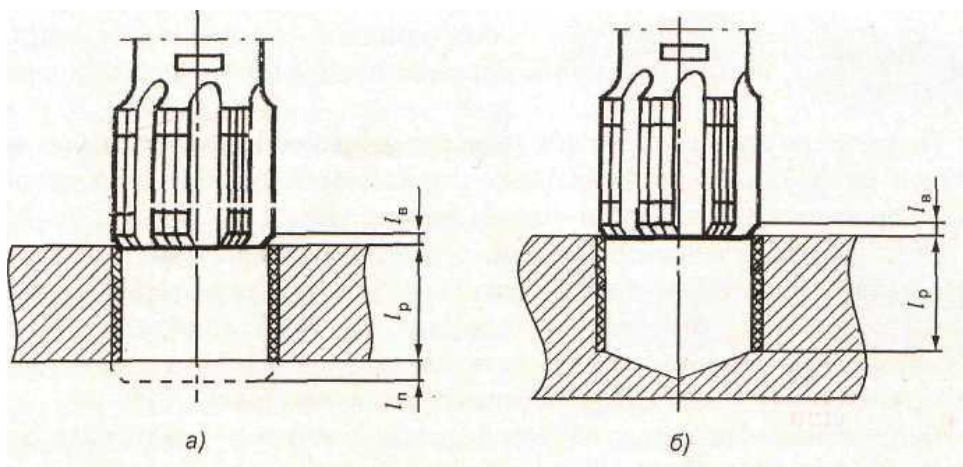


Рисунок 8.4 Схемы зенкерования и развертывания сквозных (а) и глухих (б) отверстий

8.2.Строгание и долбление

Подача S выражается в мм на двойной ход резца или заготовки (мм/дв.ход). Обрабатывают: различные канавки, вырезы в цилиндрических и конических отверстиях.

Поворотный стол (с углом поворота на 360°) значительно расширяет технологические возможности *долбежных станков*.

Диаметр стола - от 360 до 1600 мм, а ход долбяка от 10 до 1600 мм.

На *продольно-строгальных станках* заготовка и стол совершают возвратно-поступательное движение, поэтому скорость резания 0,3-0,6 м/с.

У строгальных резцов сечение державки в 1,2-1,5 раза больше; при вылете - до 40 мм, строгальные резцы выполняются прямыми, свыше 40 мм — изогнутыми.

Чистовое строгание (широкими резцами) обеспечивает *отклонение от параллельности плоскости 0,1 мм на 1000 мм длины*. Наклон главной режущей кромки выполняют под углом $8-10^\circ$.

Микронеровности на поверхности, обработанной строгальными и долбежными резцами, имеют однозначную направленность.

Число проходов резца i зависит от общего припуска на обработку Z_0

$$i = \frac{Z_0}{t},$$

где t — глубина резания.

При обработке труднодоступных поверхностей используют двухсторонние резцы

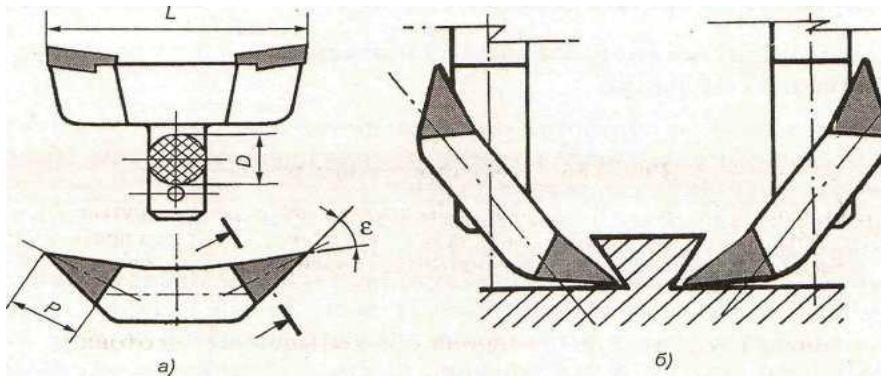


Рисунок 8.5 Двусторонние резцы для строгальных и долбежных работ:

a — общий вид резца; *б* — схема обработки

Число двойных ходов для снятия заданного припуска

$$n_{\text{дв.х}} = i \frac{B + b_{\text{вр } B} + b_{\text{п}B}}{S},$$

где i — число проходов; B — ширина обрабатываемой заготовки; $b_{\text{вр } B}$ — начальный перебеж резца на каждый двойной ход по ширине заготовки; $b_{\text{п}B}$ — конечный перебеж резца на каждый двойной ход по ширине заготовки; S — подача (направленная перпендикулярно главному движению резания).

Скорость рабочего хода

$$V_{\text{р.х}} = \frac{n_{\text{д.х}} L_{\text{р.х}}}{1000} (1 + K),$$

$L_{\text{р.х}}$ — длина рабочего хода резца (стола);

$n_{\text{дв.х}}$ — число двойных ходов резца (стола);

K — отношение скорости раб. хода $V_{\text{рх}}$ к скорости холостого хода $V_{\text{х.х}}$.

На долбежных станках *скорость резания* — 0,1–0,6 м/с.

Число двойных ходов:

$$n_{\text{дв.х}} = \frac{V_{\text{р}} \cdot 1000 \cdot 60}{L_{\text{р.х}} (1 + K)}.$$

Основное время *при строгании*

$$t_0 = i \frac{(L_{\text{р}} + l_{\text{вр}L} + l_{\text{п}L})(B + b_{\text{вр } B} + b_{\text{п}B})}{n_{\text{дв.х}} S},$$

где i — число проходов; $L_{\text{р}}$ — длина обрабатываемой заготовки (длина резания);

$l_{\text{вр}L}$ — начальный перебеж резца на каждый двойной ход по длине заготовки;

$l_{\text{п}L}$ — конечный перебеж резца на каждый двойной ход по длине заготовки.

Основное время *при долблении*

$$t_o = \frac{B}{n_{\text{дв.х}} S},$$

B -глубина канавки;

$n_{\text{дв.х}}$ -число двойных ходов;

S -подача резца на один двойной ход

Фрезерование. Обрабатывают: плоскости, тела вращения, резьбы, фасонные криволинейные, винтовые поверхности, можно прорезать, отрезать заготовки, подрезать торцы и т.д.

Используют *прорезные* и *отрезные* фрезы. Уступы, пазы и проушины обрабатывают *дисковыми* или *кольцевыми* фрезами.

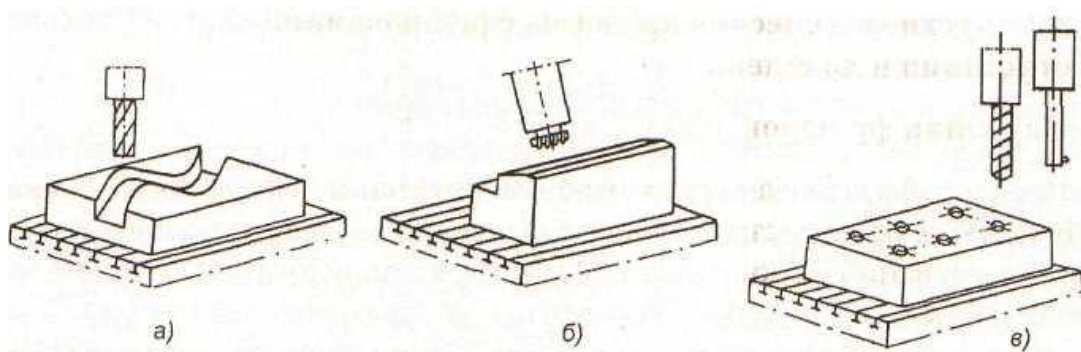


Рисунок 8.6. Схемы обработки заготовок на продольно-фрезерных станках

На продольно фрезерных станках величина подачи стола и фрезерной бабки независимы друг от друга, можно обрабатывать различные криволинейные поверхности (рисунок 8.5 «а»), а за счет поворота фрезерной бабки обрабатывать поверхности, расположенные под различными углами относительно базовой плоскости (рисунок 8.5 «б»). Бесступенчатая подача позволяет использовать эти станки для сверления и растачивания отверстий (рисунок 8.5 в б)). Их используют для фрезерования, расточки, сверления, резьбонарезания и других работ.

Фрезерные станки с ЧПУ оснащены дискретной системой, которая задает размеры по координатам с погрешностью $0,01$ мм и имеет магазин с 6-24 инструментами.

Наиболее распространены *концевые фрезы*. Их используют для обработки замкнутых углублений, пазов, контуров на вертикально-фрезерных и копировальных станках. Соотношение рабочего диаметра к длине в концевых

фрезах равно 0,2-0,5 (диаметр их рабочей части составляет 3-50 мм, чаще 12-40 мм).

Торцевое фрезерование обеспечивает многостороннюю обработку плоскостей корпусных заготовок. Стандартные диаметры 60-600 мм, ими возможна обработка *за один проход* широких плоскостей, в том числе по ширине большей, чем диаметр фрезы. Но диаметр фрезерной головки не должен быть больше диаметра шпинделя более чем в 1,5 раза.

Обработка легких сплавов при частоте вращения шпинделя до 100 с-1 (на испытаниях при 200 с-1).

Разновидностью фрезерования является *иглофрезерование*. Режущими элементами в этом случае является стальная пружинная проволока диаметром 0,2-1,0 мм, связанная в пучки и спрессованная. Наружные торцы игл шлифуются, внутренние – свариваются.

Скорость резания иглофрезой до 2,0 м/с, подача 300 мм/мин, глубина резания 0,01-1,0 мм, припуск на обработку 0,01-2,5 мм, стойкость 100-200 ч.

Иглофрезерование используется при обработке наружных поверхностей стальных корпусных заготовок, очистке окалины и других черновых операциях.

Глубину резания t выбирают в зависимости от припуска, мощности, жесткости технологической системы.

При фрезеровании используют три вида подач: подача на зуб S_z , подача на оборот S_o и минутная подача S_m .

Подача на зуб — величина перемещения инструмента и заготовки при повороте фрезы на один угловой шаг, мм/зуб,

$$S_z = \frac{S_o}{z} = \frac{S_m}{nz},$$

где z — число зубьев фрезы; n — частота вращения фрезы.

Подача на оборот - перемещение фрезы и заготовки за один оборот фрезы, мм/об,

$$S_o = \frac{S_M}{n},$$

Минутная подача - перемещение фрезы и заготовки за одну минуту, мм/мин,

Скорость резания, м/мин, при торцевом фрезеровании

$$V = \frac{\pi D n}{1000},$$

где n - частота вращения фрезы, об/мин; D - диаметр фрезы, м

$$V = \pi D n, \text{ м/мин,}$$

где n - частота вращения фрезы, с⁻¹; D - диаметр фрезы, м.

Мощность резания

$$N = \frac{M_k}{975},$$

где M - крутящий момент от сил сопротивления резанию.

Производительность зависит от величины снимаемого за один проход припуска, минутной подачи и скорости резания. Снятие больших припусков (до 25 мм) за один проход возможно ступенчатыми торцевыми фрезами.

Скорость фрезерования до 10-15 м/с, причем можно обрабатывать даже закаленные стали.

Основное время при фрезеровании

$$t_o = i \frac{l_o + l_{вр} + l_n + l_d}{S_z z n} = i \frac{L_{р.х}}{S_M},$$

где $L_{р.х}$ -длина рабочего хода; l_o -длина обрабатываемой поверхности заготовки; $l_{вр}$ -длина врезания фрезы; z -число зубьев фрезы; l_n -перебег фрезы; l_d -дополнительная величина хода; i -число проходов фрезы; S_M -минутная подача.

Производительность фрезерования оценивают минутной подачей

$$S_M = 318 \frac{S_z V z}{D_\phi},$$

S_z -подача на зуб; V -скорость резания; z -число зубьев фрезы; D_ϕ -диаметр фрезы.

На фрезерных станках с прямолинейной подачей *минутная подача*

$$S_M = S_o n.$$

Ее уточняют по паспорту станка.

Длину перебега фрезы l_n принимают от 1 до 5 мм.

Основное время на станках с круговой подачей, т.е. при обработке комплекта заготовок, установленных на барабане (столе станка)

$$T_o = \frac{1}{n_{ст}} \frac{\alpha}{360^\circ},$$

где $n_{ст}$ -уточненная частота вращения шпинделя станка;

α -угол поворота стола станка за время резания.

8.3 Методы шлифования

Различают шлифование обдирочное, предварительное (черновое), окончательное (чистовое), тонкое и выхаживание.

Обдирочное шлифование.

Припуск - 1,0 мм (до 7,0 мм); достигается 7-9 квалитет точности и шероховатость $R_a=1,25-0,2$ мкм.

Тонкое шлифование- припуск 0,1-0,05 мм; достигается 4-6 квалитет точности и шероховатость $R_a=0,1-0,02$ мкм.

Тонкое шлифование и выхаживание выполняют при одном установе.

Круглошлифовальные станки используют для диаметров до 200 мм с расстоянием между центрами до 750 мм и сквозных и глухих отверстий диаметром до 200 мм длиной до 250 мм.

Виды поверхностей - конические, торцевые и фасонные (для тел вращения).

Бесцентрово-шлифовальные станки - для обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей от десятых долей миллиметра до десятков миллиметров.

Плоскошлифовальные станки работают периферией или торцом круга. Круги - диаметром до 100 мм, хотя заготовки крупные и длинные - до 1 м.

При обработке торцов металлокерамических зубчатых колес параллельность торцов составляет 0,02 мм, $R_a=0,63$ мкм.

Производительность зависит от качества заготовок и способов их подачи в зону обработки (подвижной лентой, комплексом с порталной структурой, транспортерами и т.п.).

Внутришлифовальные станки применяют для цилиндрических, конических и профильных отверстий в заготовках больших размеров.

У шлифовального круга режущие элементы не имеют заданной геометрии, они хаотично выступают на поверхности круга. Толщины слоев, снимаемых отдельными абразивными зернами, также различны. При этом окружная скорость круга всегда значительно больше окружной скорости заготовки.

Из-за микронеровностей и волнистости поверхностей *контактирование* режущих зерен с обрабатываемой поверхностью происходит *на отдельных участках*.

Основная часть выделяемой теплоты (до 85%) уходит в обрабатываемую деталь, температура обрабатываемой заготовки достигает 350°C , что может вызвать деформации.

Параметры абразивная обработки: подача, скорость, глубина резания (на шлифовальный круг).

Зернистость и твердость шлифовального круга определяют качество поверхностей, вне зависимости от метода шлифования.

Повышение продольной подачи повышает съём металла в единицу времени.

Увеличение глубины резания сопровождается более глубоким проникновением режущих зерен круга в обрабатываемый материал и возрастанием сил резания.

СОЖ применяют для снижения сил трения в зоне контакта и уменьшения температуры в зоне резания.

Эффективным способом снижения теплового процесса при шлифовании заготовок из труднообрабатываемых металлов с низкой теплопроводностью является подача СОЖ в зону резания под давлением до 10-15 МПа.

Большая часть энергии при шлифовании (до 90%) затрачивается на преодоление сил трения между поверхностями круга и резания.

Для чернового шлифования рекомендуется применять водные СОЖ с серо-, хлоро-, фосфоросодержащими присадками.

При бесцентровом шлифовании процесс можно интенсифицировать обдувом зоны резания охлажденным до $+5-60^{\circ}\text{C}$ воздухом под давлением $0,4-1$ МПа. Повышение давления струи СОЖ до $7-15$ МПа позволяет избежать засаливания круга.

Абразивные и алмазные инструменты отличаются геометрической формой, размерами, материалом, расположением и величиной абразивных зерен, типом связки, степенью твердости, структурой.

К недостаткам можно отнести: отсутствие оптимальных углов резания, из-за разнообразия форм и размеров зерен, случайного их расположения; неоднородность свойств материалов, из которых состоят такие инструменты; несовершенство технологии производства кругов, большой расход энергии, затрачиваемый на единицу снятого металла.

Технологические возможности зависят от характеристики шлифовального круга, режимов резания, состояния станка, своевременности и качества правки. Применяют кварц, наждак, корунд, алмаз.

Алмазы делятся на *природные* и *синтетические* (технические). Содержание углерода в алмазе составляет $96-99,8\%$.

Технические алмазы часто имеют трещины, пятна включения некоторых минералов. Коэффициент трения алмазов: по стали- $0,05$; по латуни- $0,1$; по алюминию- $0,45$.

Теплопроводность их больше, чем твердых сплавов, например, больше, чем сплава Т15К6 в 5 раз и сплава ВК8 в 3 раза, а также больше, чем карбида кремния в 10 раз и электрокорунда в 7 раз. Алмаз горит в воздухе при температуре $850-1000^{\circ}\text{C}$, а при нагреве без доступа воздуха он переходит в графит.

Алмазы оценивают в каратах. $\text{Карат (K)} = 200 \text{ мк (} 2 \cdot 10^{-4} \text{ кг)}$.

Синтетический алмаз получают из графита и углеродсодержащих веществ с середины 50-х годов XX в. Они содержат больше примесей.

К искусственным абразивным материалам относятся также *кубический нитрид бора, электрокорунд, карбид кремния* (карборунд) и *карбид бора*.

Кубический нитрид бора (эльбор) — абразивный материал, твердость которого близка к алмазу, а абразивная способность при шлифовании стали и коэффициент трения выше (цвет от светло-лилового до черного в зависимости от условий синтеза).

Теплостойкость кубического нитрида бора в зависимости от зернистости достигает *1300-1500 °C* (чем крупнее зерно, тем выше теплостойкость).

Кубическим нитридом бора обрабатывают твердые стали и сплавы когда необходима высокая размерная точность, например, в производстве подшипников.

Средне- и мелкозернистые круги применяют: для получения величины параметра шероховатости $R_a=0,4-0,08$ мкм, при обработке закаленных сталей и твердых сплавов, окончательном шлифовании, заточке и доводке инструментов.

Для соединения зерен - применяют связки: *органические* и *неорганические*.

К органическим относятся: вулканитовая (В), бакелитовая (Б), грифталева (ГФ), эпоксидная, поливинилформалиновая.

Неорганические связки: керамическая (К); магниевая (М) силикатная (С).

Абразивный материал имеет следующие условные обозначения:

Э - электрокорунд нормальный; ЭК - электрокорунд белый; К4 - карбид кремния черный; КЗ - карбид кремния зеленый.

Твердость абразивного материала характеризуется по минералогической шкале: М1, М2, М3 - мягкий; СМ, СМ1, СМ2 - среднемягкий; С, С1, С2 - средний; СТ, СТ1, СТ2, СТ3 - среднетвердый; Т, Т1, Т2 - твердый; ВТ1, ВТ2 - весьма твердый; ЧТ1, ЧТ2 - чрезвычайно твердый. Цифры, следующие за буквой, характеризуют возрастание твердости.

Зерна имеют разную *абразивную способность*, т. е. возможность разрушать обрабатываемый материал (снимать мелкую стружку), которая оценивается

отношением массы снятого материала к массе израсходованного шлифовального материала.

<i>Абразивный материал</i>	<i>Маркировка</i>	<i>Абразивная способность зерен</i>
Алмаз	А, АС	1,0
Эльбор	ЛО	0,8
Карбид кремния	55С	0,55
Монокорунд	45А	0,22
Электрокорунд	15А	0,2...0,22
Электрокорунд	34А	0,21
Электрокорунд	24А	0,18...0,2

При всех видах правки кругов (без снятия со станка) снимают слой $0,05-0,8$ мм, при автоматической правке снимается примерно $0,02$ мм. Максимально допустимая толщина снимаемого слоя при правке не должна превышать $0,3$ мм.

Правка: алмазами в оправках, алмазными карандашами и пластинами, кругами (из карбида кремния), роликами (алмазными, твердосплавными) или звездочками (чугунными, стальными). Пластины покрыты тонким слоем (от $0,5$ до 2 мм) алмазной крошки.

Виды шлифования с продольной подачей, врезное, глубокое и комбинированное.

При шлифовании с продольной подачей заготовка на круглошлифовальном станке при каждом обороте перемещается на величину, примерно равную половине ширины круга. В конце хода или за один двойной ход круг подается на величину поперечной подачи.

Врезное шлифование (с поперечной подачей) характеризуется увеличением толщины среза одним абразивным зерном, при этом не него увеличивается нагрузка, вызывающая самозатачивание, повышается износ круга, возрастают сила и мощность резания. Этот способ позволяет повысить производительность обработки цилиндрических конических и фасонных поверхностей вращения.

При глубинном шлифовании абразивный круг с заборной конической частью устанавливается на всю заданную глубину шлифования.

Метод применяют для обработки заготовок по целому, например, для прорезания канавок. Увеличение глубины резания осуществляется за счет замедления круговой скорости инструмента или продольной подачи.

Глубинное шлифование целесообразно при обработке незакаленных заготовок повышенной жесткости и с большим колебанием припуска. Оно может быть выполнено с поперечной или продольной подачей.

Повысить производительность шлифования можно с помощью *скоростного* и *обдирочного* шлифования. Различают *скоростное шлифование* ($V_{кр} = 35-60$ м/с) и *высокоскоростное* ($V_{кр} > 60$ м/с).

Комбинированное (интегральное, совмещенное) шлифование предусматривает совмещение скоростного и силового или скоростного и глубинного шлифования.

Точность обработки *IT6-IT7* при шероховатости $R_a \approx 0,02-0,08$ мкм.

Метод *упрочняющего шлифования*. Шлифование валов осуществляется в два прохода (черновой и чистовой). На второй проход оставляется припуск $0,05-0,20$ мм на диаметр. На первом проходе (благодаря увеличению глубины резания и скорости шлифовального круга) плотность теплового потока увеличивается, а резкое охлаждение заготовки потоком СОЖ вызывает упрочнение поверхностного слоя.

На втором проходе производится незначительный сьем металла на спокойных режимах с выхаживанием.

Для второго прохода припуск - не более 0,2 мм.

Глубина резания t , мм, (поперечная подача):

$$t = \frac{D_3 - D}{2},$$

где D_3 - диаметр заготовки; D - диаметр обработанной поверхности.

Подача S обычно задается в долях от высоты круга.

Скорость вращения шлифовального круга, м/с, определяется по формуле

$$V_k = \frac{\pi D_k n_k}{60 \cdot 1000} \approx 0,525 \cdot 10^{-4} D_k n,$$

где D_k - диаметр шлифовального круга, мм; n - частота вращения шлифовального круга, мин^{-1} .

Деталь вращается вокруг своей оси со скоростью,

$$V_d = \frac{\pi d_3 n_3}{1000} \approx \frac{d_3 n_3}{318}, \text{ м/мин,}$$

d_3 - диаметр заготовки, мм; n_3 - частота вращения заготовки, мин^{-1} .

Скорость шлифования обычно не превышает 50 м/с. При скоростях до 60-80 м/с увеличивают и скорость вращения заготовки.

Круги изготавливают на металлических или керамических связках. Ожоги появляются при температуре около 300 °С.

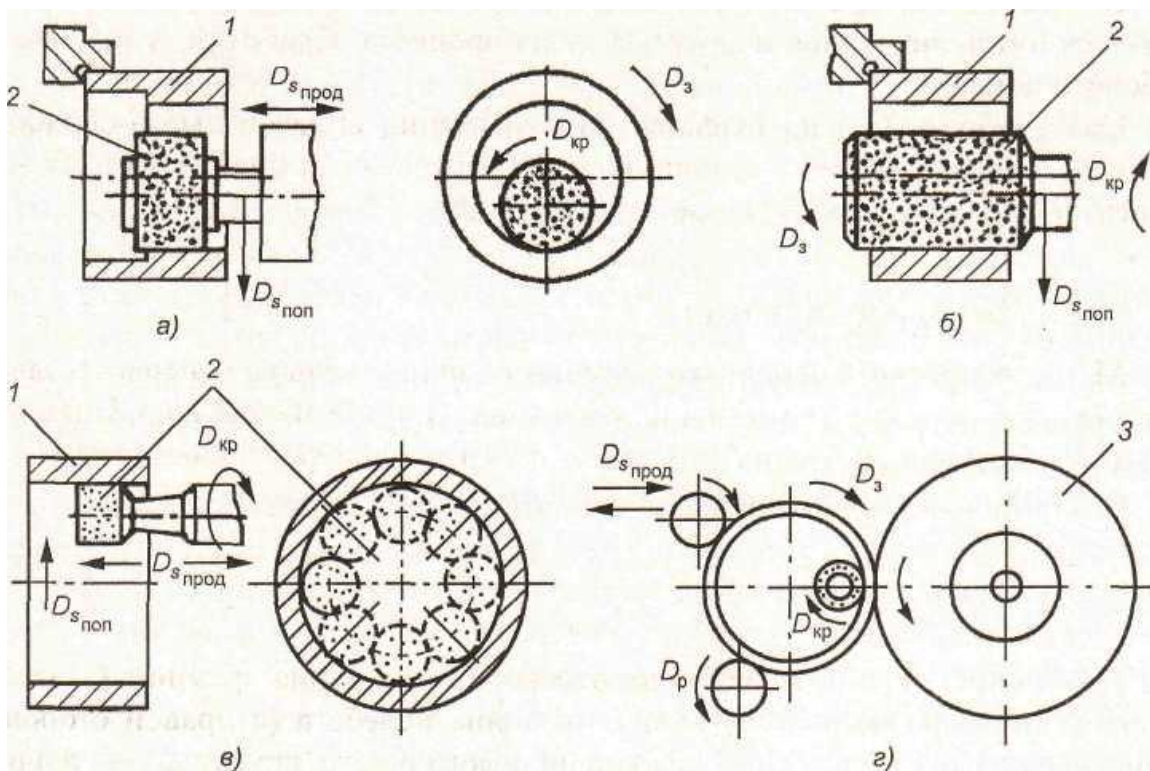


Рисунок 8.7 Схемы шлифования отверстий:

а - с продольной подачей; б - с поперечной подачей; в - планетарное; г - бесцентровое; 1 - заготовка; 2 - шлифовальный круг; 3 - ведущий ролик; 4 - опорный ролик; 5 - прижимной ролик

При обработке наружных поверхностей с *продольной подачей* основное время

$$t_o = \frac{2(L_z + l_{вр.л} + l_{п.п} + H)(Z_o + i_v S_{поп})}{S_{поп} S_{прод}},$$

где L_z - длина обрабатываемой заготовки; $l_{вр.л}$ — длина врезания (с левой стороны шлифовального круга); $l_{п.п}$ -длина перебега (с правой стороны круга); H -высота шлифовального круга; Z_o -общий припуск на шлифование; i_v - число ходов выхаживания; $S_{поп}$ -поперечная подача; $S_{прод}$ -продольная подача.

При *врезном шлифовании* основное время

$$t_o = \frac{l_{уск}}{S_{уск}} + \sum \frac{L_{pi}}{S_{поп_i}} + t_{вых},$$

$l_{уск}$ -путь резания с ускоренной подачей ($0,3L_p$); $S_{уск}$ -ускоренная подача ($2,5S$); L_{pi} -путь резания; $S_{поп_i}$ -поперечная подача (i -этап цикла).

При обработке на бесцентрово-шлифовальном станке с продольной подачей (на проход) основное время

$$t_o = \frac{L_p}{0,95 S_{прод}},$$

где L_p -длина обрабатываемой заготовки (длина резания); 0,95-коэффициент проскальзывания; $S_{прод}$ -продольная подача.

На шлифовальных станках с ЧПУ можно проводить одновременную обработку наружных и внутренних поверхностей.

8.4.Отделочные методы: хонингование, суперфиниширование, полирование, притирка.

Они отличаются от шлифования более низкими скоростями резания, малыми удельными давлениями.

Хонингование осуществляют мелкозернистыми брусками, закрепляемыми в головке (хоне), которая одновременно с вращением совершает возвратно-поступательное перемещение вдоль обрабатываемого отверстия.

Его используют для обработки отверстий (диаметром 6-1500 мм и длиной 10...20 м). При этом, исправляют отклонение формы, овальность, конусность и другие погрешности предыдущей обработки, общий припуск не более 0,15-0,2 мм. (припуск до 1,0 мм). Отклонение расположения оси отверстия не исправляется.

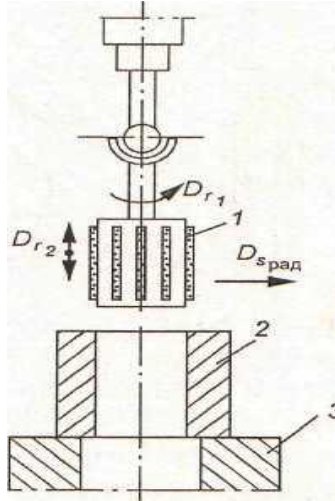


Рисунок 8.8 Схема хонингования отверстия:

1 — хонинговальная головка; 2 — заготовка; 3 — стол хонинговального станка

Обильная подача СОЖ обеспечивает удаление продуктов износа из-под брусков и с обрабатываемой поверхности; давление инструмента на обрабатываемую поверхность в 6-10 раз меньше, чем при шлифовании.

Режимы. Окружная скорость резания 20-80 м/мин, возвратно-поступательная 2,0-30 м/мин, давление брусков 0,2-1,4 МПа.

Исправление погрешностей формы достигается механизмом клинового разжима режущих брусков.

Нечетное число брусков целесообразно при обработке прерывистых поверхностей, их количество: 2, 4, 6, 8.

Общий припуск на обработку Z_o

$$Z_o = (1 + f) \Delta_{исх},$$

f -коэффициент жесткости детали (для жестких $f=1$, для нежестких $f=1,25-1,35$);

$\Delta_{исх}$ -исходная погрешность формы обрабатываемого отверстия.

Особенности процесса:

- производительность (в ряде случаев превосходит производительность шлифования или тонкого растачивания);

- точность обработки, мало зависит от точности станка, так как радиальные составляющие силы резания взаимно уравниваются;
- низкая температура в зоне резания (поэтому на деталях с переменными сечениями стенок отсутствует их деформация от нагрева);
- простота регулирования работы хонинговальной головки;
- достижение 4-5 квалитетов точности и шероховатости $R_a=0,8-0,1 \text{ мкм}$.

Выбор характеристик брусков зависит от механических свойств материала, величины припуска и требуемого качества обрабатываемой поверхности. Используют электрокорунд белый или карбид кремния зеленого. Реже - электрокорунд нормальный или карбид кремния черный.

Зернистость от 12 и менее. Для съема больших припусков – зернистость 20-25 мкм и более.

Алмазные бруски характеризуются зернистостью, концентрацией алмазов и видом связки (100%-ной концентрацией принимается содержание в 1 мм^3 алмазного слоя $0,878 \text{ мг алмаза}$.)

Хонинговальные станки обеспечивают вращательное, возвратно-поступательное движения шпинделя и радиальную подачу (разжим) брусков.

Наибольшее распространение получила схема с возвратно-поступательным движением инструмента при неподвижной заготовке.

Основное время

$$T_o = \frac{n_{p.x.}}{n_{\text{дв.х.}}}$$

Число двойных ходов хона

$$n_{\text{дв.х.}} = \frac{2Z_o}{S_{\text{рад}}}$$

Z_o - общий припуск (в одну сторону),

$S_{\text{рад}}$ - радиальная подача на двойной ход.

Частота движений хона $n_{\text{дв.х.}} = \frac{1000V_{\text{В-П}}}{L_{\text{р.х.}}}$

$V_{\text{В-П}}$ - скорость возвратно-поступательного движения хона.

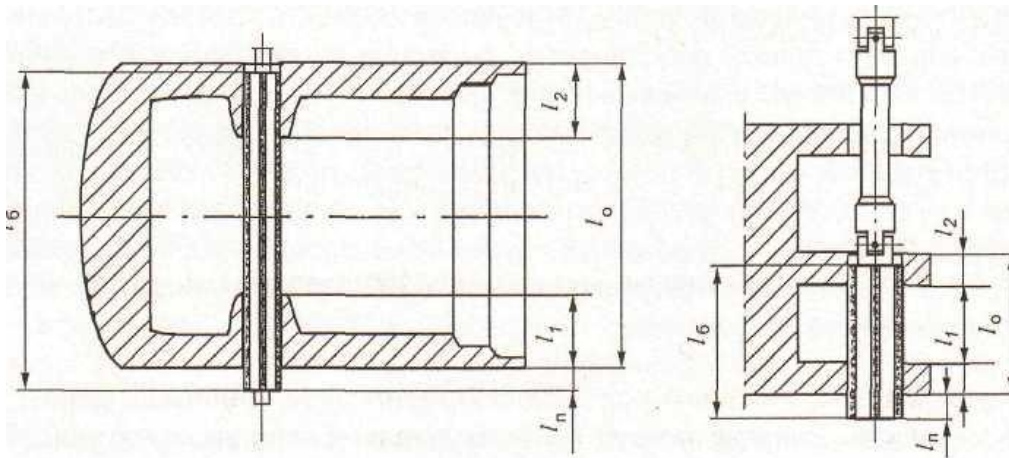


Рисунок 8.9 Схемы хонингования многоярусных отверстий.

Суперфиниширование.

Область применения. Обработка плоских, цилиндрических и конических, а также сферических поверхностей из закаленной стали и чугуна. При этом припуск должен превышать высоту микронеровностей на 10-20%

Достигается 5-4 *квалитет точности* и шероховатость $Ra=0,2-0,05$ мкм.

Число и ширину брусков выбирают в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия. Давление брусков на обрабатываемую поверхность 0,1-0,3 МПа.

Суперфиниш (микрофиниш) осуществляется мелкозернистым инструментом, совершающим осциллирующее (колебательное) движение вдоль образующей поверхности обрабатываемой заготовки с минимальными удельными давлениями на инструмент и при использовании СОЖ.

При суперфинишировании радиальная подача на врезание абразивных зерен обеспечивается за счет упругого поджима бруска к обрабатываемой поверхности.

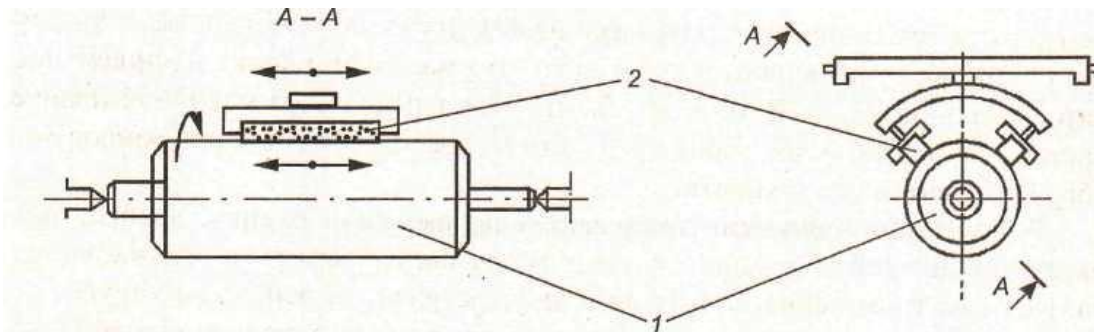


Рисунок 8.10 Схемы движений заготовки и инструмента при суперфинишировании: 1 -заготовка; 2 – инструмент.

При резании основного металла его съем может значительно превосходить удвоенную высоту исходных микронеровностей и составлять $15-20 \text{ мкм}$ и более на диаметр.

Среднюю скорость колебательного движения V_K

$$V_K = 4An_{6p}.$$

n_{6p} - число двойных ходов бруска,

A - амплитуда колебаний.

Чистовая обработка выполняется при низком давлении ($0,1-0,3 \text{ МПа}$ для стали и $0,1-0,2 \text{ МПа}$ для чугуна).

Интенсивное снижение микронеровностей происходит в начальный период ($5-10 \text{ с}$) контакта бруска с обрабатываемой деталью.

В основном применяют бруски из карбида кремния зеленого и электрокорунда белого на керамической связке зернистостью от $M7$ до $M40$. Для окончательной обработки используют бруски из карбида кремния. Их же применяют для чугуна, вязких сталей и цветных металлов.

Алмазные бруски на бакелитовой связке используют для твердого сплава и керамики.

Частота движений (двойных ходов в минуту) бруска $n_{дв.х}$

$$n_{дв.х} = \frac{1000 V_{в-п}}{2L_{п.х}},$$

где $V_{в-п}$ - скорость возвратно-поступательного движения бруска;

$L_{п.х}$ - длина хода возвратно-поступательного движения бруска.

Длину бруска l_6 , мм, для врезного суперфиниширования поверхностей длиной до 60 мм с продольной подачей инструмента рассчитывают

$$l_6 = L_p - A + 1 \dots 2,$$

L_p -длина обрабатываемой поверхности заготовки;
 A -амплитуда колебаний бруска.

Основное время при суперфинишировании - 0,1-0,5 мин.

Доводка и полирование

Доводка — абразивная обработка, при которой инструмент и заготовка одновременно совершают любое движение со скоростями одного порядка (или при неподвижности одного из них).

Притирка — доводка деталей, работающих в паре, для обеспечения максимального контакта сопрягаемых поверхностей. Например, притирка клапанов двигателя внутреннего сгорания к седлам клапанов.

При притирке используют микропорошки (величина зерна 3...20 мкм) корунда, окиси хрома, окиси железа и др. Применяют также специальные пасты, например, пасты ГОИ, содержащие в качестве абразива окись хрома, а в качестве связки олеиновую и стеариновую кислоты.

Припуск на обработку составляет примерно 5 мкм.

Полирование — обработка для снижения высоты микронеровностей поверхности; осуществляемая абразивным инструментом, пластическим деформированием и др.

Давление притира P обычно составляет 0,03-0,3 МПа.

При обработке закаленных сталей используют чугунные притиры с суспензиями на основе белого электрокорунда.

Обработка притирами характеризуется взаимодействием заготовки, зерна, притира, скоростью и траекторией относительного движения. Используемые СОЖ (керосин, олеиновая кислота и др.) при доводке образуют слой между притиром и обрабатываемой поверхностью.

На рисунке представлены схемы обработки.

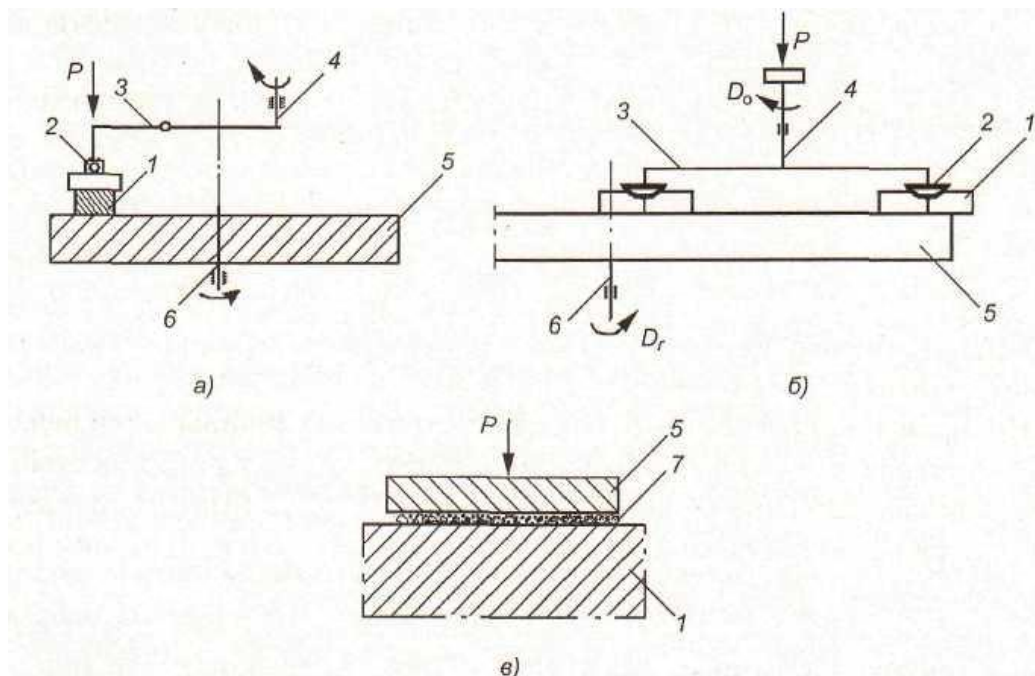


Рисунок 8.11 Схема доводки плоских поверхностей притиром:

а-одной заготовки; *б*-двух; *в*-взаимное расположение элементов;
 1-заготовка; 2-подвижный наконечник; 3-поводок; 4-шток; 5-притир;
 6-шпиндель притира; 7-свободные частицы абразива; Р-груз.

Припуск на предварительные доводочные операции составляет $20-50 \text{ мкм}$ (обычно $10-20 \text{ мкм}$), на окончательную обработку - $3-5 \text{ мкм}$.

Химико-механическая доводка сочетает химическое воздействие на обрабатываемую поверхность и механическое удаление поверхностных пленок. Применяют пасты с активными добавками (олеиновой кислоты, серы, стеорина).

Полирование снижает микронеровности без устранения отклонения формы обрабатываемых поверхностей, так как давление резания небольшое ($0,03-0,2 \text{ ГПа}$); шероховатость $R_a=0,05-0,01 \text{ мкм}$.

Инструментом - эластичные круги и абразивные шкурки (войлок, фетр, кожа или парусина). На такой мягкий круг наносится мелкий абразивный порошок, смешанный со смазкой.

Снимаемые припуски до $0,3 \text{ мм}$ (крупнозернистыми порошками).

Абразивные ленты, покрытые полировочными пастами, бывают шириной до 300 мм и длиной 3000 мм и более. Кроме шкурок с электрокорундом и

карбидом кремния, нанесенных на тканевую или бумажную основу, используют шкурки с эльбором и алмазом.

Полирование кругами с нанесенными на них абразивными зернами или абразивными пастами и суспензиями производят со скоростью 30-35 м/с.

При полировании исходная шероховатость обрабатываемой поверхности не должна превышать $R_a=2,5$ мкм.

Основное время *при полировании* лепестковыми кругами

$$T_o = 10^{-2} \frac{F}{H} K_1 K_2 K_3,$$

F -площадь обрабатываемой поверхности;

H -высота лепесткового круга;

K_1 -коэффициент, зависящий от исходной и требуемой шероховатости поверхности;

K_2 -коэффициент, зависящий от диаметра лепесткового круга;

K_3 -коэффициент, зависящий от деформации лепесткового круга.

Полирование выполняют: на низких (до 1 м/с) и высоких скоростях (до 40 м/с).

8.5. Методы ППД

Сущность. При ППД пластически деформируется только поверхностный слой.

Различают *статическое, ударное, вибрационное и ультразвуковое ППД*.

При ППД наблюдается *остаточная* и *упругая* деформация.

Накатывание — самый распространенный метод ППД. Разновидностью является *обкатывание* и *раскатывание*.

Галтовка — ППД соударением незакрепленных заготовок и инструмента в замкнутом объеме при их перемещении, вызванном вращением рабочего органа.

Чеканка - образование на поверхности заготовки рельефных изображений за счет перераспределения металла.

Выглаживание -скольжение инструмента по локально контактирующей с ним поверхности деформируемого материала.

Вибро-ударная обработка - ППД закрепленных заготовок рабочими телами в замкнутом объеме.

Ударно-барабанная обработка осуществляется за счет соударения закрепленных в барабане заготовок с рабочими телами, падающими вследствие его вращения.

Обработка дробью - ППД материала ударами дроби. В зависимости от источника кинетической энергии дроби (струи газа, жидкости, смеси газа с жидкостью, вращения ротора дробемета, свободное падение) различают *дробеструйную, дробеметную, гравитационную* и другие.

Принципиальной разницы между *обкатыванием* и *выглаживанием* нет.

Обкатывание и раскатывание обеспечивает *7-11* *квалитет* и шероховатость $R_a=0,04$ мкм при обработке в холодном состоянии сталей твердостью до 45 HRC₃.

Режимы: натяг (0,01...0,2 мм), сила прижима и подача. Обработка - как на специальных станках, так и на обычных (модернизированных токарных и сверлильных).

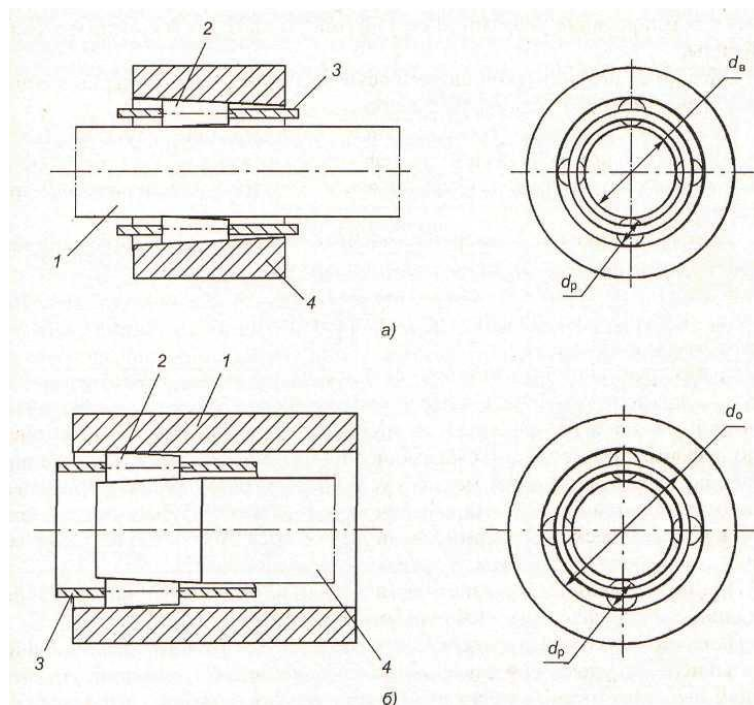


Рисунок 8.12 Схема обкатывания вала (а) и раскатывания отверстия (б):
1 — заготовка; 2 — деформирующий ролик; 3 — сепаратор; 4 — опорный конус роликов

Подача на оборот сепаратора S_c

$$S_c = S_p Z_p,$$

где S_p — подача на ролик; Z_p — количество роликов.

Частота вращения ролика n_p

$$n_p = \frac{1000 V}{\pi d_p},$$

где d_p — диаметр ролика.

Операции раскатывания отверстий обычно выполняются за один проход и не требуют направляющих. Деформирующие ролики и опорный конус изготавливают из быстрорежущей стали ШХ15 или Р6М5 (40-45 HRC₃). Величина шероховатости рабочих поверхностей деформирующих роликов соответствует $R_a < 0,1$ мкм. Ролики выполняют цилиндрическими или коническими.

Накатывание поверхностей роликами создает в поверхностных слоях детали остаточные сжимающие напряжения, что повышает сопротивление усталости этих деталей. Сжатие поверхностных слоев детали замедляет скорость роста усталостных трещин.

Глубина наклепанного слоя составляет значительную величину. Кроме того, при обкатывании и раскатывании достигается не только снижение высоты микронеровностей, но и радиус закругления вершин неровностей значительно возрастает ($r = 700-1000$ мкм).

Ролики изготавливают из легированных (ШХ15, 5ХНМ и др.), быстрорежущих (Р6М5, Р9 и др.), углеродистых инструментальных (У10А, У12А и др.) сталей с твердостью рабочей поверхности 63-65,8 HRC₃ или твердых сплавов.

Обкатывание осуществляется роликами и шариками. Шарiki экономичнее.

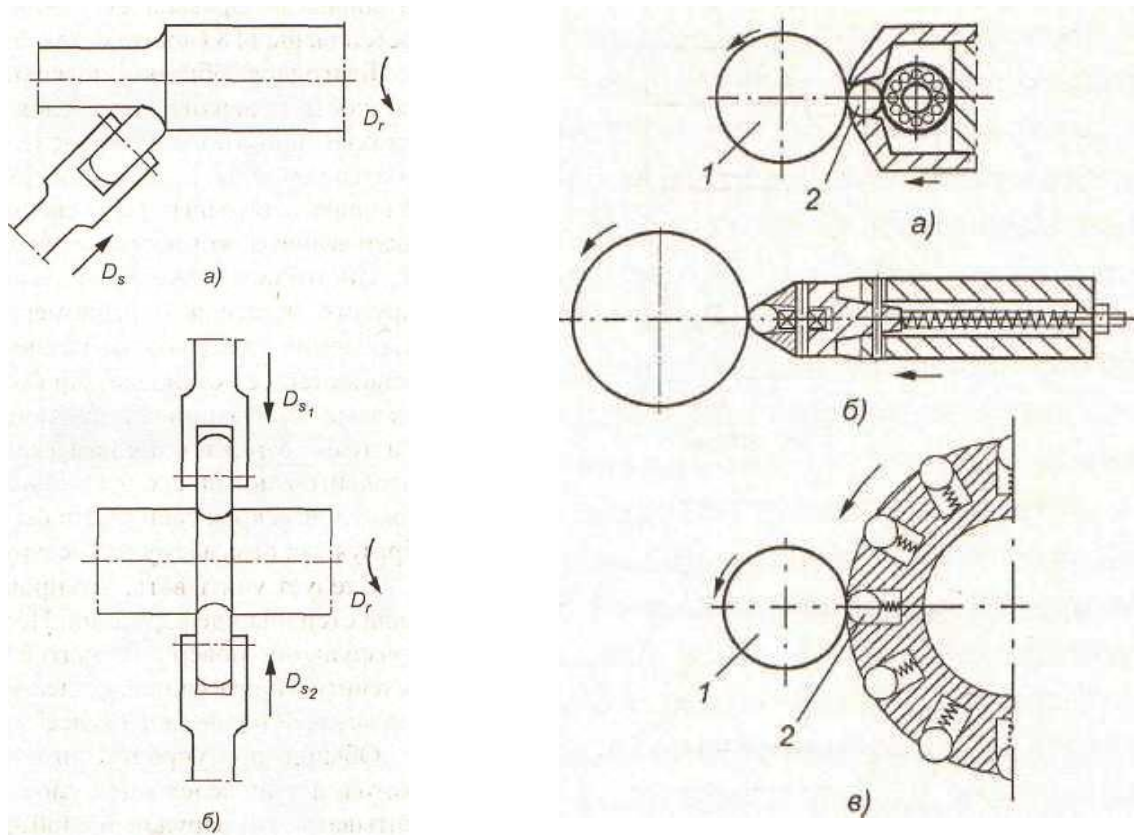


Рисунок 8.13 Схемы обкатывания вала роликами и шариками:

При обкатке вала шариком усилие Q на него, при соотношении диаметра обрабатываемого вала и шарика более десяти, можно определить по формуле:

$$Q = \left(\frac{dP_{уд}}{0,045E} \right)^2,$$

d — диаметр шарика; $P_{уд}$ — максимальное удельное давление накатывания;
 E — модуль упругости материала обрабатываемого вала.

Скорость обработки обычно составляет $0,5...1,5$ м/с.

Необходимо учитывать соотношения между шероховатостью, шагом и радиусом микронеровностей $R_z \approx \frac{S^2}{8R}$.

При обработке *незакаленных сталей* исходные неровности не оказывают существенного влияния на достигаемые качественные характеристики. Однако подготовка поверхности под обкатывание необходима, так как при шероховатости $R_a > 20$ мкм микронеровности будут деформироваться лишь частично. Обычно, применяя термин «незакаленные стали», подразумевают, что их твердость не превышает 230 НВ.

Методы вибрационного накатывания сопровождаются образованием *регулярного микрорельефа*.

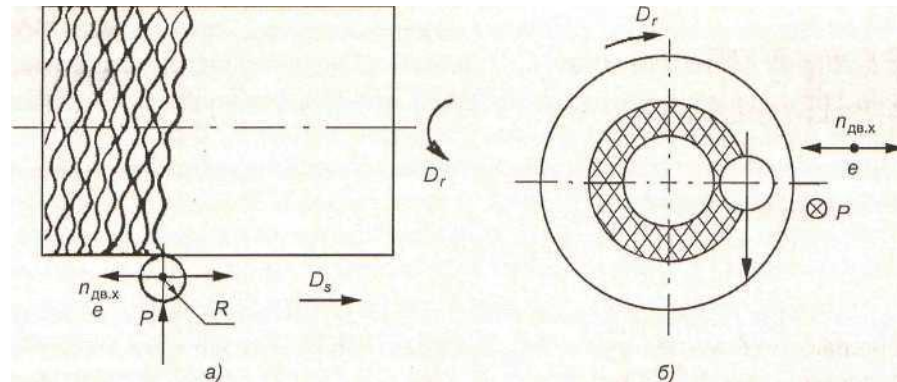


Рисунок 8.14 Схемы образования *регулярного микрорельефа*.

Основными параметрами вибрационного накатывания являются усилие деформирования P , частота перемещения (вращения) заготовки n_z , скорость продольного движения подачи D_s , частота осцилляции деформирующего элемента $n_{дв.х}$, амплитуда его колебаний e и радиус R рабочей поверхности деформирующего элемента (шарика).

Основное время при обкатывании вала одним роликом

$$t_0 = i \frac{l_v + l_z + l_n}{n_{ш} S_0} \approx i \frac{l_z}{n S},$$

где l_v - длина входа ролика; L - длина заготовки; l_n - длина перебега; i - число проходов; $n_{ш}$ - частота вращения шпинделя; S_0 - подача на оборот шпинделя.

При выборе подачи учитывают диаметр и радиус закругления ролика ($S = 0,1-0,2$ мм).

Скорость обработки выбирают наибольшую (до 1,5 м/с).

Алмазное выглаживание — метод ППД, осуществляемый при скольжении инструмента по локально контактирующей с ним поверхности.

Область применения процессов обкатывания и раскатывания поверхностей ограничена твердостью 45 HRC₃.

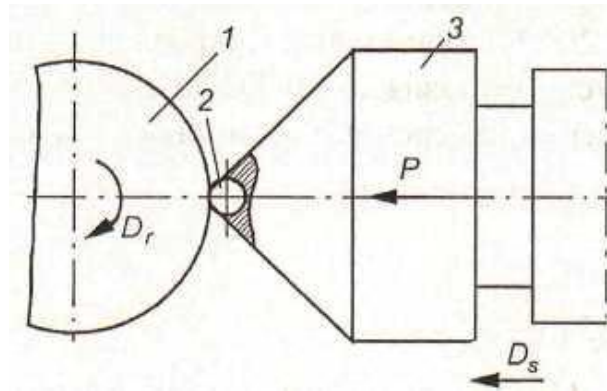


Рисунок 8.15 Схема алмазного выглаживания:
1 — заготовка; 2 — алмаз; 3 — оправка

Заготовка вращается, инструмент (выглаживатель) имеет продольную подачу. Алмаз работает в условиях трения скольжения, радиус рабочей сферы алмаза составляет $0,5...3,5$ мм.

Основными показателями процесса выглаживания являются — нормальная сила P_H , продольная подача $S_{пр}$ и число проходов n .

При выглаживании алмазным инструментом закаленной стали создается давление $P_H = 150...300$ Н, а незакаленной стали $P_H = 10-200$ Н. Скорость не оказывает существенного влияния на качество обработки, а подачу выбирают около $0,08$ мм/об.

При алмазном выглаживании металл не налипает на инструмент, так как алмаз отполирован ($R_a = 0,01...0,02$ мкм), имеет низкий коэффициент трения ($0,02-0,1$), обладает высокой теплопроводностью и незначительной способностью к адгезии.

Усилие выглаживания P

$$P = KHV \left(\frac{dR}{d + R} \right)^2,$$

где K — коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала (незакаленные стали $K = 0,008$, закаленные стали $K = 0,013$; HV — твердость по Виккерсу; d — диаметр обрабатываемой поверхности; R — радиус рабочей части алмаза.

При выглаживании вала изготовленного из стали 45 (170-190 НВ) алмазом, имеющим рабочую поверхность радиусом 3,4 мм, усилие выглаживания составит 0,5 Н.

Подача инструмента 0,02...0,1 мм/об. Число проходов инструмента по обрабатываемой поверхности не должно быть более двух.

СОЖ - индустриальное масло, сульфифрезол и др. влияют на стойкость инструмента и качество обработки.

Примерная стойкость алмаза между переточками при обработке закаленных сталей составляет 150...200 км пути (около 30 ч работы), при обработке незакаленных сталей она повышается в 4-5 раз.

Дробеструйная обработка заготовок из стали, сплавов и чугуна, применяют для упрочнения их поверхностного слоя.

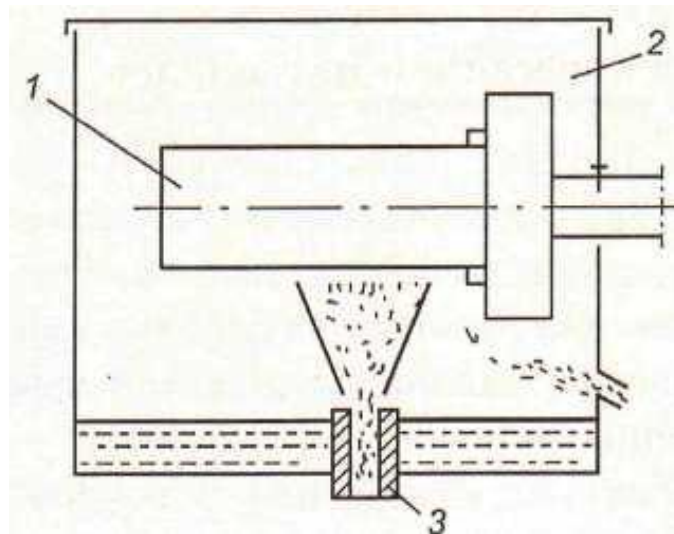


Рисунок 8.16 Схема гидродробеструйной установки:
1 — обрабатываемая заготовка; 2 — рабочая камера установки; 3 — сопло

Обдувку дробью, выполняют с целью поверхностного упрочнения, можно осуществлять стальными шариками, с применением эмульсии или масла (трансформаторного), или всухую, на специальных установках (пневмогидродробеструйных). Жидкостная пленка охлаждает обрабатываемую поверхность и обеспечивает более равномерное распределение ударной нагрузки дробинки.

8.6. Операции нанесения покрытий

Нанесением покрытий называется обработка, заключающаяся в образовании на заготовке поверхностного слоя из инородного материала (окрашивание, металлизация, анодирование, оксидирование и др.).

Покрытия защищают детали от коррозии, придают верхнему слою свойства, отличающие его от основного металла.

По видам применяемых материалов покрытия делят на металлические, химические и лакокрасочные, а *по способу нанесения* — на гальванические, химические.

По назначению различают контактные, электроизоляционные, защитные, износостойкие и декоративные покрытия.

Применяют также химико-термическую обработку поверхностного слоя. При выборе вида покрытия учитывают условия работы изделия.

К металлическим покрытиям относят напыление (металлизацию), когда на поверхность детали наносится слой различных материалов, нагретых до расплавленного состояния. Нагрев выполняют до температур плавления (2000-10000°С) и под воздействием газа переносят частицы на наносимую поверхность. Деформируясь и растекаясь они превращаются в плоскую пленку, которая за счет молекулярного взаимодействия удерживается на поверхности детали.

Каждая пара рабочих материалов (покрытие-деталь) имеет свою температуру подогрева, при которой обеспечивается прочное сцепление этих материалов. Например, при нанесении стали на сталь температура подогрева детали не превышает 150°С. Некоторые рабочие материалы можно обрабатывать без нагрева заготовки.

При прохождении наносимого материала от механизма нагрева до детали он частично окисляется, что снижает его сцепление с поверхностью. Поэтому процесс напыления целесообразно проводить в камере с нейтральным газом (аргоном), а не воздухом.

Толщина покрытия составляет 0,02...5 мм и более.

Металлизация широко применяется для устранения дефектов в отливках и при ремонтных работах. К ее недостаткам относятся хрупкость и малая прочность сцепления слоя покрытия с материалом основания.

Наиболее распространен *гальванический способ*. Он позволяет получать покрытия высокого качества и строго определенной, заранее заданной толщины. К его недостаткам относят пористость слоя и невозможность получения равномерного осадка на всех участках поверхности детали сложной формы. Этому недостатка лишен *химический способ*, когда металл осаждается из специальных растворов без применения электрического тока. Это позволяет покрывать наружные и внутренние поверхности деталей сложной формы.

Покрытия делят на *анодные* и *катодные*. Электродный потенциал металла анодных покрытий более электроотрицателен, чем основного металла. Катодными называют покрытия с обратным соотношением потенциалов.

В процесс нанесения покрытий входят: подготовка поверхности, нанесение покрытия, промывка и сушка детали.

Подготовка включает механическую обработку, обезжиривание и травление.

Механическая обработка (полирование, пескоструйная или гидроабразивная) улучшает качество поверхности, удаляет забоины и продукты коррозии. Грязь и жиры с поверхности детали смываются органическими растворителями (бензином, керосином, трихлорэтиленом), известью, горячими щелочными растворителями (химическим или электрохимическим способом).

Промывку в органических растворителях с дополнительной обработкой в щелочных растворах выполняют для очистки поверхности от минеральных масел. Обезжиривают обычно известью или отмоченным мелом. Наиболее эффективных результатов можно достичь при обработке деталей в горячих щелочных растворах ($70-90^{\circ}\text{C}$), которые полностью удаляют жиры растительного и животного происхождения.

Травлением удаляют пленки оксидов с поверхности обезжиренных и промытых деталей. Процесс травления обычно ведут в растворах серной, соляной и азотной кислот.

Заключительной операцией по подготовке поверхности под покрытие является *декапирование* (легкое травление). Эту операцию осуществляют, погружая детали на 1...2 мин в 5...10%-ный раствор серной или соляной кислоты.

Структура покрытий и равномерность отложения металла зависят от условий электролиза (состава электролита, его температуры и чистоты, плотность тока и др.). Лучше применять переменный ток, так как при этом осадки металла получаются более мелкозернистые и плотные, чем при работе на постоянном токе.

После нанесения покрытия детали промывают в холодной и горячей воде для удаления с их поверхности электролита. Детали сушат в сушильных шкафах при температуре $110-120^{\circ}\text{C}$ в течение 5-10 мин или обдувают чистым сухим воздухом.

Тип покрытий выбирают в зависимости от условий работы детали.

Если *толщина покрытий* соизмерима величиной полей допусков сопрягаемых деталей (что имеет место для 5,6,7 квалитетов точности), тогда ее следует учитывать с позиций возможного искажения характера посадок. Это в полной мере относится к резьбовым, коническим и другим видам соединений.

Под чертежами деталей покрытия принято проставлять после твердости и квалитетов точности свободных размеров. В соответствии с ГОСТ9791-68 в обозначении покрытия должен быть указан способ нанесения, материал, толщина и т.д. Например, *Хим.окс.5* означает химическое оксидирование поверхности толщиной 5 мкм.

Кроме того, для менее ответственных деталей и поверхностей используют и лакокрасочные покрытия, которые наносят в том числе и краскопультами. В их обозначениях могут содержаться следующие сведения: а) наименование (лак, краска или эмаль); б) состав наносимого вещества (буквами); в) группа покрытия (по назначению); г) порядковый номер материала; д) цвет.

Например: Эмаль МЛ-120 ГОСТ18099-78, серая.

9.ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

Производительность и себестоимость проектируемых ТП – прежде всего зависит от требуемого чертежом качества точности, заданной шероховатости поверхностей, а также рядом дополнительных требований по чертежу детали.

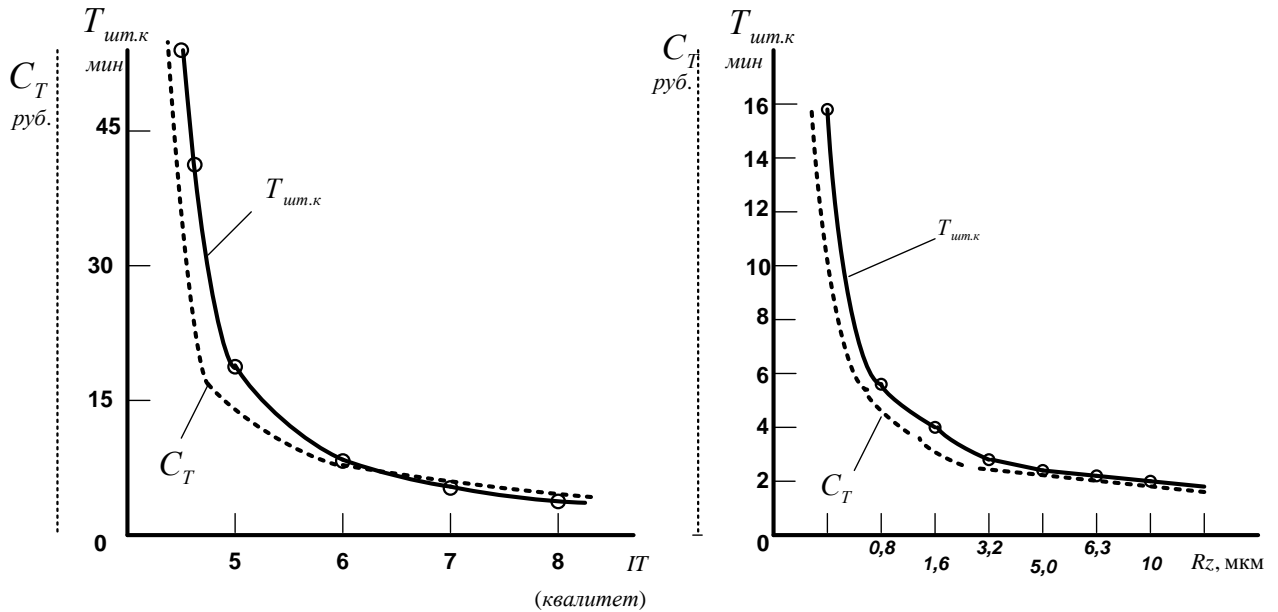


Рисунок 9.1 Соотношения штучно-калькуляционного времени и технологической себестоимости с качеством точности и шероховатостью.

Уменьшение допусков и шероховатости увеличивают трудоемкость и себестоимость по закону гиперболы, так как возрастает основное время T_0 из-за необходимости проведения дополнительных рабочих ходов и снижения режимов резания; при этом увеличивается вспомогательное время $T_{всп}$ из-за необходимости дополнительного контроля, применения более дорогостоящих станков и другой технологической оснастки.

При выборе наиболее рационального варианта обработки (для конкретных условий производства) во всех случаях необходимо одновременно учитывать производительность и экономичность.

Наилучшим вариантом ТП признается тот, у которого сумма текущих и приведенных капитальных затрат на единицу продукции будет минимальной.

В эту сумму входят: зарплата операторам и наладчикам (основная и дополнительная) с начислениями на соцстрах, расходы по содержанию и

эксплуатации машин и производственной площади и плата за основные доходы (т.е. рассчитывается технологическая себестоимость).

Сумму всех материальных затрат определяют:

1. Бухгалтерским методом
2. Элементный методом

1. При бухгалтерском методе – себестоимость изготовления детали

$$C = M + L + Z ;$$

M - себестоимость изготовления с вычетом суммы и сдачу отходов; руб.

L - зарплата производственных рабочих; руб.

Z - сумма остальных цеховых расходов (в % от L), руб. $Z = 150 - 800\%$

$$C = M + L \cdot \left(1 + \frac{Z}{100} \right)$$

Недостатки метода: не пригоден для анализа вариантов, так как не выделяет составляющих цеховых расходов Z .

Достоинства: простота и оперативность.

2. Элементный метод – более точен (учитывает все составляющие технологической себестоимости). При этом, возможно не учитывать те затраты, которые не зависят от ТП и остаются неизменными при сопоставлении вариантов: (зарплата цеховых работников, внутрицеховой транспорт, текущий ремонт и амортизация зданий, сооружений и др.).

$$C = M + L + L_H + R + M_{\epsilon} + A + W + V + E, \text{ руб.}$$

L_H - зарплата наладчиков с отчислениями;

R - расходы на ремонт оборудования;

E - расходы на электроэнергию;

M_{ϵ} - расходы на вспомогательные материалы (СОЖ, смазки и т.д.);

A - амортизационные расходы;

W - расходы на эксплуатацию и амортизацию инструмента;

V - расходы на эксплуатацию и амортизацию приспособлений.

В некоторых случаях рассчитывают и срок окупаемости.

Разновидностью бухгалтерского метода расчета является метод часовых приведенных затрат. Для него себестоимость изготовления

$$C_{нз} = \frac{C_3}{M} + C_{ч.з.} + E_H (K_C + K_3)$$

C_z - основная и дополнительная зарплата, начисления на страхование за физический час работы обслуживающих машин;

M - коэффициент,

$C_{ч.з.}$ - часовые затраты на эксплуатацию и ремонт оборудования,

E_H - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (0,15);

K_c - удельные часовые капиталовложения в станок;

K_z - удельные часовые капиталовложения в здание.

Каждый технолог должен стремиться к снижению технологической себестоимости, так как в этом случае разработанный им ТП будет более конкурентоспособным. Для этого: выполняют более тщательное обоснование норм времени и других затрат, выполняют оптимизацию режимов резания и другие мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Технология машиностроения: в 2-х т. Т.1.Основы технологии машиностроения: Учебник для ВУЗов/ В.М.Бурцев, А.С.Васильев, А.М.Дальский и др.: Под ред.А.М.Дальского.- М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1998.- 564 с.
- 2.Маталин А.А. Технология машиностроения. Учебник. Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
- 3.Клепиков В.В., Бодров А.Н. Технология машиностроения. Учебник., М.: Форум: Инсо-М, 2004, - 860 с.
- 4.Ковшов А.Н. Технология машиностроения. Учебник для машиностр. специальностей ВУЗов.- М.: Машиностроение, 1987.- 320 с.
- 5.Горбацевич А.Ф., Шкред И.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения, Минск, Высшая школа, 1983. - 290 с.
- 6.Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения, Минск, Высшая школа, 1975. - 287 с.
- 7.Худобин Л.В. и др. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1989. - 288 с.
- 8.Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова/ изд. 4-е пераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985.
- 9.Обработка металлов резанием: Справочник технолога. /Под ред. А.А.Панова/. - М.: Машиностроение, 1988. - 736 с.
- 10.Краткий справочник металлиста./ Под общ. ред. П.Н.Орлова и Е.А.Скороходова, М.: Машиностроение, 1986.- 960.
- 11.Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения./Учебное пособие для машиностроительных ВУЗов /Под ред. О.А.Горленко - М.: Машиностроение, 1988. - 192 с.
- 12.Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения - М: Машиностроение, 1972. - 216 с.
- 13.С.И.Богомолов,О.Ф.Лукиянец Имитационное моделирование точности технологических процессов механической обработки деталей., М.: Завод-ВТУЗ при ЗИЛе, 1988.- 50 с.