Министерство образования и науки Челябинской области

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение

**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

**ЧАСТЬ 1**

для специальности

15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (ТОП 50)

Челябинск, 2021 г

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Учебное пособие составлено  на основе рабочей программы УД «Технология автоматизированного машиностроения» | ОДОБРЕНО  Предметной (цикловой)  комиссией  протокол № \_\_\_\_\_\_  от «\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.  Председатель ПЦК  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_С.А Ченцов | УТВЕРЖДАЮ  Заместитель директора по УМР  \_\_\_\_\_\_\_Т.Ю. Крашакова  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г. |

**АВТОР: Падюков Юрий Александрович**, преподаватель ГБПОУ «Южно-Уральский государственный технический колледж»

**АКТ СОГЛАСОВАНИЯ**

учебного пособия по учебной дисциплине «Технология автоматизированного машиностроения»

для специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств,

разработанное преподавателем Южно-Уральского

государственного технического колледжа

Ю.А Падюков

Учебное пособие по учебной дисциплине «Технология автоматизированного машиностроения» составлено в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом, среднего профессионального образования, утвержденным Министерством образования и науки Российской Федерации от 09.12.2016 г. № 1561 с учетом времени, отведенным учебным планом. Учебная дисциплина «Технология автоматизированного машиностроения» относится к общепрофессиональным дисциплинам и определяет общий объем знаний и умений, составляющих базу профессиональных компетенций.

В Учебном пособии рассматриваются вопросы базирования заготовок при механической обработке, точность обработки деталей и причины возникновения различных погрешностей, методы их исследования и расчётов, качество поверхностного слоя обработанных деталей и его влияние на эксплуатационные показатели машин, вопросы построения размерных цепей, основы технического нормирования операций механической обработки, технологические процессы сборки.

Практическая направленность дисциплины реализуется через выполнение практических работ, что дает возможность студентам получить необходимые навыки, по выбору оснастки для оборудования, читать принципиальные схемы.

**

Генеральный директор ООО «ЧЗДТ»

Гордеев Сергей Владимирович

ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |  |
| --- | --- |
| Введение | 6 |
| **Раздел I. Основные понятия и определения** | 7 |
| * 1. Производственный и технологический процессы | 7 |
| * 1. Технологическая операция и её элементы | 9 |
| * 1. Типы машиностроительных производств и их техническая характеристика | 12 |
| Раздел II. Базирование и базы в машиностроении | 14 |
| * 1. Основные положения теории базирования | 14 |
| * 1. Классификация баз | 16 |
| * 1. Установка заготовки на станке | 22 |
| * 1. Определённость базированния заготовок при изготовлении партии деталей | 22 |
| * 1. Погрешность базирования, закрепления и установки заготовок при механической обработке | 25 |
| * 1. Смена баз, принципы единства и совмещения баз | 28 |
| * 1. Выбор баз при проектировании технологических процессов | 31 |
| * 1. Основные комбинации комплектов технологических баз, применяемые при механической обработке заготовок деталей | 33 |
| Раздел III. Точность обработки деталей на станках | 34 |
| * 1. Основные понятия о точности обработки | 34 |
| * 1. Способы достижения заданной точности обработки деталей на металлорежущих станках | 35 |
| * 1. Погрешности обработки и основные источники их возникновения | 37 |
| Приближённость реальной кинематической схемы обработки к идеальной схеме обработки | 38 |
| * + 1. Приближённость реального профиля режущего инструмента к идеальному профилю | 40 |
| * + 1. Геометрические погрешности станка и приспособления, и их износ в процессе эксплуатации | 40 |
| * + 1. Погрешность изготовления режущего инструмента и его размерный износ в процессе эксплуатации | 43 |
| * + 1. Упругие деформации технологической системы от действия сил резания и усилий закрепления | 46 |
| * + 1. Температурные деформации станка, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки | 52 |
| * + 1. Деформации изготовляемой детали от действия внутренних напряжений | 57 |
| Погрешности настройки инструмента на размер | 60 |
| Погрешности измерения | 61 |
| 3.3.10Достижимая и экономическая точность обработки деталей на станках | 62 |
| 4Прогнозирование и расчёты погрешностей обработки | 63 |
| Методы прогнозирования точности обработки | 63 |
| Систематические и случайные погрешности обработки | 64 |
| Статистические методы исследования точности обработки | 66 |
| 4.3.1 Метод кривых распределения | 67 |
| 4.3.2 Метод точечных диаграмм | 68 |
| ЛИТЕРАТУРА | 70 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Машиностроение в современном мире является важнейшей отраслью хозяйственной деятельности, определяющей степень и прогресс развития различных отраслей промышленности: металлургии, энергетики, сельского хозяйства, оборонной промышленности и многих других.

Технология автоматизированного машиностроения – техническая наука, изучающая закономерности теоретических и практических приёмов механической обработки деталей машин, обеспечивающих требуемое качество обработки при заданной производственной программе с наименьшей себестоимостью.

Технология автоматизированного машиностроения по своей природе является наукой комплексной, отражающей все многообразие взаимосвязанных явлений, возникающих как на этапе изготовления детали, или сборки узла, так и в процессе выполнения всего технологического процесса. Поэтому базой технологии машиностроения как науки являются многие теоретические и технические науки, такие как теоретическаямеханика,сопротивлениематериалов,некоторыеразделыматематики,деталимашин, теория резания, металлорежущие станки и инструменты, основы стандартизации технические измерения и другие.

Научные работы по вопросам технологии машиностроения появились с началом развития машиностроительного производства. В этих работах обобщался накопленный производственный опыт. Еще в1904г. Академик В.М. Севергин сформулировал первые основные положения о технологии процессов: технология–наука о ремеслах и заводах. В 1885 г. профессор И.А. Тиме обобщил результаты многолетних исследований в труде «Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ». В труде профессора А.П. Гавриленко «Технология металлов» изложены теоретические основы технологии металлообработки.

Из зарубежных ученых-технологов прошлого столетия следует отметить К.Кармаша, который опубликовал труды «Введение в механическое учение технологии», «Основы механической технологии». Американец Ф.У.Тейлор в работе «Искусство обработки металлов», изданной в 1900г., определил ряд важных положений по механической обработке резанием.

Однако как самостоятельная дисциплина в высших учебных заведениях и как новое научное направление, технология машиностроения сформировалась в тридцатые годы прошлого столетия. В этот период был опубликован ряд монографий, посвященных этому вопросу. Среди них следует отметить: «Технологию машиностроения» В.М.Кована (1938г.); «Теорию точного приборостроения»А.Б. Яхнина (1940 г.); «Технологию станкостроения» Б.С. Балакшина (1943 …1946г.г.); «Технологию механической обработки металлов» М.Е. Егорова и В.И. Дементьева(1946г.);«Курс технологии машиностроения» А.П.Соколовского (1947…1949г.г.);«Технологию машиностроения»А.И.Каширина(1949г.) и др.

В перечисленных работах были заложены основы теоретических и прикладных вопросов технологии машиностроения, таких как теория базирования, теория точности, теория и расчет размерных цепей, методика проектировании технологических процессов обработки различных деталей машин.

В настоящее время в машиностроительной промышленности разработаны теоретические основы технологии машиностроения, научно обоснованы типовые технологии прогрессивной обработки различных деталей машин, сформированы основные принципы проектирования технологических процессов наиболее производительной обработки деталей и сборки из них узлов и механизмов. Разработаны системы автоматизированного проектирования технологической подготовки производства (САПР ТПП) для различных типов производств, в том числе для гибких производственных систем (ГПС).

#### Раздел I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

* 1. **Производственный и технологический процессы**

Современное машиностроительное предприятие является сложной хозяйственной структурой, в которой в результате осуществления отдельных процессов из различных материалов и полуфабрикатов получают готовые изделия.

В единой системе технологической документации (ГОСТ 14.004–83) производственный процесс определяется как совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта продукции.

Производственный процесс отличается большой сложностью. Он включает в себя не только обработку деталей на различных станках, но также контроль качества, транспортировку и хранение продукции на складах, снабжение рабочих мест электроэнергией, режущим инструментом, технологической оснасткой и т.д.

Производственную структуру предприятия определяет состав цехов и служб. Элементарной единицей структуры предприятия является рабочее место. На рабочем месте размещены исполнители работ, обслуживаемое технологическое оборудование, оснастка и предметы труда. Группа рабочих мест, организованная по предметному, технологическому или предметно–технологическому принципу образует производственный участок. Совокупность производственных участков образует цех (ГОСТ14.004–83).

Составной частью производственного процесса, связанной с обработкой деталей и сборкой из них узлов и механизмов, является технологический процесс. Технологическим процессом называется часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. Технологический процесс представляет собой совокупность различных операций, в результате выполнения которых изменяются размеры и формы изделия, шероховатость и физико-механические свойства поверхности, выполняется соединение изделий в узлы и механизмы, осуществляется контроль требований конструкторского чертежа.

Для управления технологической подготовкой производства в соответствии сГОСТ14.301–83 технологические процессы подразделяют на три вида: единичный технологический процесс, типовой и групповой.

Технологический процесс изготовления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства, относится к единичному технологическому процессу. Разработка единичных технологических процессов производится для изделий, не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, изготавливаемыми на данном предприятии.

Технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками называется типовым технологическим процессом. Разработка типовых технологических процессов производится для группы изделий отнесённых к одному классу, имеющих одинаковые: маршрут операций, схемы базирования, технологическое оборудование, приспособления и режущий инструмент.

Технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками называется групповым технологическим процессом. Разработка групповых технологических процессов производится для изделий разных классов, но близких друг к другу по конфигурации, размерам и точности.

По степени детализации описания технологических процессов при оформлении технологической документации различают:

* Маршрутный технологический процесс–описание всех технологических операций производится в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания технологических переходов и режимов резания;
* операционный технологический процесс – описание всех технологических операций производится полностью в последовательности их выполнения с указанием всех технологических переходов и режимов резания;
* маршрутно-операционный технологический процесс – описание всех технологических операций в маршрутной карте производится в последовательности их выполнения, при этом отдельные операции описываются полностью в других технологических документах.

При выполнении технологических процессов различают следующие виды объектов производства:

* изделие – единица промышленной продукции, количество которой исчисляется в штуках или экземплярах (ГОСТ7102 –71ЕСТПП);
* полуфабрикат–изделие предприятия-поставщика, подлежащее дополнительной обработке или сборке, полуфабрикатом может быть изделие вспомогательного производства этого же предприятия;
* заготовка – предмет производства, из которого путем изменения формы, размеров, шероховатости поверхности, свойств материала изготавливают деталь или неразъемную сборочную единицу. Заготовка перед первой технологической операцией называется исходной заготовкой. Материал исходной заготовки называется основным материалом. Материалы, расходуемые при выполнении технологического процесса дополнительно к основному материалу, называются вспомогательными материалами.

– детали – изделия, изготовленные из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций;

– сборочные единицы – изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе путем сборочных операций.

* 1. **Технологическая операция и её элементы**

Технологической операцией называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Операция является основным элементом производственного планирования и учёта. На выполнение операций устанавливаются нормы времени и расценки, по ним рассчитываются трудоёмкость и себестоимость технологического процесса, необходимое количество оборудования, рабочих, технологической оснастки и т.д.

Для понимания термина технологическая операция необходимо учитывать, что при изготовлении деталей в машиностроительном производстве эта часть технологического процесса выполняется:

* над определённой заготовкой (или над одновременно обрабатываемыми несколькими заготовками);
* одним или группой рабочих;
* непрерывно (непрерывность выполнения операции понимается как условие, при котором заготовка не передаётся на другое рабочее место до окончания выполнения данной операции);
* на одном рабочем месте.

Операция может выполняться на отдельном технологическом оборудовании (станке) в обычном производстве.

Также операция может выполняться и на автоматической линии, представляющей собой комплекс технологического оборудования. Такое оборудование связанно единой транспортной системой с технологической оснасткой и единой системой управления и контроля.

Примером операции, выполняемой на одном станке, является обработка партии валов последовательно: каждый вал обрабатывается сначала с одной стороны, а затем, после переустановки, с другой стороны.

Если все валы данной партии обрабатываются с одной стороны на одном станке, а затем передаются на другой станок и обрабатываются на нём с другой стороны, то это означает наличие двух операций, т. к. нарушен признак непрерывности обработки каждой заготовки.

По структуре работ, выполняемых при обработке заготовок, ГОСТ3.1109–82 определяет следующие основные элементы технологической операции:

1. Установ – часть технологической операции, которая выполняется при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемых сборочных единиц.

Примером установа может служить обработка вала на токарном станке:

* если на одном станке обрабатывается сначала одна сторона вала, а затем заготовка переустанавливается и обрабатывается другая сторона вала, то имеет место одна операция с двумя установами;
* если каждая сторона вала обрабатывается на отдельном станке, то имеют место две операции и по одному установу в каждой из них.

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

Примером наличия в операции определенных позиций может служить обработка заготовок на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, где имеет место один установ при количестве позиций равных количеству шпинделей станка. Другим примером возможных вариантов сочетаний установов и позиций может служить обработка шести поверхностей заготовки в виде куба на горизонтально–фрезерном станке:

* если последовательно обрабатывается каждая поверхность заготовки с установкой на неподвижном столе, то имеет место одна операция с шестью установами;
* если же заготовка устанавливается на поворотном столе, то обработка ведётся на одной операции, но в два установа, один из которых состоит из четырех, а второй–из двух позиций.

Таким образом, между установом и позицией имеется тесная взаимосвязь. Их сходство в том, что при каждом новом установе и новой позиции обеспечивается новое положение обрабатываемой заготовки относительно режущего инструмента. Различие же в том, каким образом это новое положение достигается:

* в каждом новом установе за счёт переустановки заготовки;
* в каждой новой позиции за счёт перемещения или поворота заготовки (или инструмента) в новое положение вместе с приспособлением без переустановки.

Поэтому замена установов позициями всегда обеспечивает сокращение времени на обработку заготовок, так как поворот или перемещение приспособления вместе с заготовкой всегда занимает меньше время, чем открепление, переустановка и закрепление заготовки. Необходимо отметить, что при этом существенно уменьшается влияние человеческого фактора на точность обработки.

1. Технологический переход – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке. При выполнении перехода технологические режимы иногда изменяются автоматически, без воздействия рабочего, например, при обработке на станках с числовым или адаптивным управлением. Переходы могут выполняться путём удаления одного или нескольких слоев металла за один или несколько рабочих ходов.
2. Рабочий ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества и свойств обрабатываемой поверхности.

Деление перехода на несколько рабочих ходов невыгодно с экономической точки зрения, так как увеличивается время обработки. Это происходит в тех случаях, когда невозможно снять припуск за один рабочий ход из-за ограничений по мощности станка, жёсткости технологической системы или прочности инструмента.

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

Примерами вспомогательного перехода являются установка заготовок на станке и снятие деталей со станка, смена режущего инструмента, измерение размеров заготовок во время и после обработки и т.д.

1. Вспомогательный ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки детали, которое не сопровождается изменением формы, размеров, качества и свойств поверхности заготовки, и необходимого для выполнения рабочего хода.
2. Наладка – подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению технологической операции. К наладке относится установка приспособления на станке, выверка на размер режущего инструмента и т.д.
3. Подналадка – дополнительная регулировка технологического оборудования или технологической оснастки при выполнении технологической операции для восстановления достигнутых при наладке параметров.
4. Технологическое оборудование – это средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка.

К технологическому оборудованию относятся литейные машины, прессы, металлорежущие станки, печи, установки ТВЧ, гальванические ванны, измерительные машины, испытательные стенды ит.п.

1. Технологическая оснастка – средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса.

К технологической оснастке относятся режущий инструмент, приспособления, штампы, калибры, пресс-формы, литейные формы ит.д.

**1.3 Типы машиностроительных производств и их техническая характеристика**

Проектирование новых технологических процессов должно осуществляться с учётом типа организации производства. В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объёма выпуска продукции различают три типа производства: единичное, серийное и массовое (ГОСТ 14.004–83).

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

Часто на одном предприятии можно встретить сочетание различных типов производств. Поэтому тип производства предприятия в целом определяется по признаку преимущественного характера технологических процессов.

Единичное производство – производство, характеризуемое широкой не планируемой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий, малым объемом выпуска одинаковых изделий.

Единичное производство универсально, так как необходимо обрабатывать различные типы заготовок на разнообразных технологических операциях, часто без их периодического повторения. Для этого предприятие должно располагать комплектом универсального технологического оборудования, универсальной, унифицированной и стандартной технологической оснасткой. Технологический процесс изготовления деталей при этом типе производства имеет уплотненный характер: на одном станке выполняется несколько операций, а иногда производится полная обработка детали. Универсальный характер выполнения работ требует высокой квалификации рабочих. Перечисленные особенности единичного производства приводят к высокой себестоимости выпускаемых изделий.

Серийное производство– производство, характеризуемое ограниченной номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объёмом выпуска. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство(ГОСТ3.1121–84).

Значение коэффициента закрепления операций принимается равным:

* Для мелкосерийного производства–от 20 до 40 включительно;
* Для среднесерийного производства–от 10 до 20 включительно;
* Для крупносерийного производства–от 1 до 10 включительно.

Серийное производство является основным типом машиностроительного производства. Примерно 80 % всей продукции машиностроения изготавливается на заводах серийного типа производства. В серийном производстве машины изготавливаются сериями, а детали обрабатываются партиями. В серийном производстве процесс изготовления деталей построен по принципу дифференциации операций. Отдельные операции закреплены за определённым рабочим местом. Поэтому производство этого типа требует переналадки технологического оборудования при переходе на изготовление деталей другой партии. При этом применяются станки различных видов: универсальные, специализированные, специальные, автоматизированные, агрегатные и т.п. Широко используются станки с числовым программным управлением, в том числе многоцелевые станки в сочетании с роботами, гибкие производственные системы с управлением от ЭВМ. Целесообразно применение специальных приспособлений, режущего и мерительного инструментов. Оборудование может располагаться по групповому признаку или по потоку (в крупносерийном производстве). В серийном производстве средняя квалификация рабочих ниже, чем в единичном производстве. Серийное производство экономически эффективнее, чем единичное, так как более полно используется оборудование, выше производительность труда, ниже себестоимость изготовления продукции.

Массовое производство – производство, характеризуемое узкой номенклатурой и большим объёмом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время. Коэффициент закрепления операций для массового производства равен 1, т.е. на одном рабочем месте выполняется одна операция.

В массовом производстве технологический процесс разрабатывается более дифференцированно, чем в серийном производстве. Широко применяется высокопроизводительное оборудование: специальные, специализированные и агрегатные станки, многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, автоматические линии и автоматизированные производственные системы, управляемые от ЭВМ. Находят ограниченное применение станки с ЧПУ. Применяется многолезвийный и наборный специальный режущий инструмент, быстродействующие автоматические и механизированные приспособления, специальные измерительные инструменты и приборы активного контроля. Для технологических процессов характерен высокий уровень использования средств автоматизации и комплексной механизации.

Несмотря на большие первоначальные капитальные затраты, необходимые для организации массового производства, технико-экономический эффект от его внедрения значительно больше, чем при серийном производстве: при большом выпуске изделий быстрее оборачиваемость вложенных средств, ниже себестоимость изделий и меньше дополнительные накладные расходы. Но при этом массовое производство значительно менее гибкое, чем серийное. В случае изменения коньюктуры рынка переход на выпуск другой продукции в условиях массового производства сильно затруднен, а в отдельных случаях невозможен без полной реорганизации всего производств

#### Раздел II. Базирование и базы в машиностроении

* 1. **Основные положения теории базирования**

Для получения заданных эксплуатационных показателей выпускаемых машине обходимо обеспечить определенное взаимное расположение деталей и сборочных единиц в узлах и механизмах машин.

При обработке заготовок на станках также необходимо обеспечить определенное положение обрабатываемых заготовок относительно механизмов и узлов станка, режущего инструмента и приспособления.

Задачи определения положения деталей при обработке на станках и последующей их сборки в узлы и механизмы решаются на основе теории базирования.

Базированием называется придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ21495–76).

В основе теории базирования лежат представления о несвободной системе, изучаемые в теоретической механике. Согласно этой теории положение любого твёрдого тела в пространстве (в том числе заготовки при её обработки) характеризуется шестью степенями свободы, определяющими возможность его перемещения и поворота относительно трёх координатных осей.

Требуемое положение твёрдого тела относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических связей. При наложении геометрических связей тело лишается определённого количества степеней свободы и если оно лишено всех шести степеней свободы, то тело становится неподвижным в системе ОХУZ (рисунок 2.1и рисунок 2.2).

В практических условиях тело может контактировать с поверхностями, определяющими его положение, лишь по определённым площадкам, которые условно можно считать точками контакта. Поэтому шесть связей, лишающих тело возможности двигаться в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых поверхностей тела в шести точках. Эти точки, имеющие теоретический характер, называются опорными.

Опорная точка – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат (рис.2.1).

Схемой базирования называется схема расположения опорных точек на базовых поверхностях. Все опорные точки на схеме изображаются условными знаками и нумеруются порядковыми номерами, начиная с поверхности, на которой располагается наибольшее число опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображается одна точка и около неё проставляются номера совмещенных точек. Число проекций заготовки на схеме базирования должно быть достаточным для чёткого представления о размещении и опорных точек(рисунок 2.2)

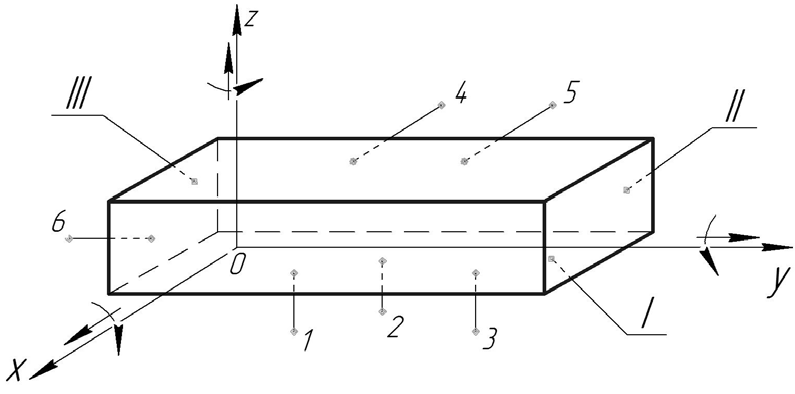


Рисунок 2.1. Система координат заготовки с комплектом баз и опорных точек: I, II и III–базовые поверхности;1–6–опорные точки

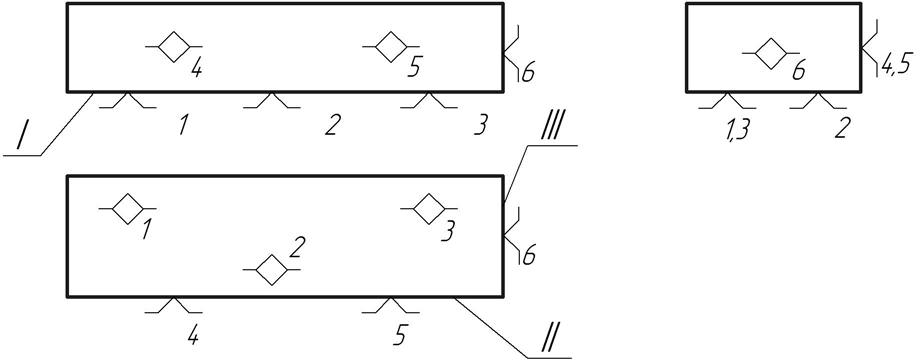


Рисунок 2.2. Схема базирования заготовки с указанием базовых поверхностей и опорных точек(I, II и III–базы детали,1–6 –опорные точки)

Вопросы теории базирования играют ведущую роль в технологии машиностроения при проектировании новых технологических процессов.

Правильный выбор базовых поверхностей и схем базирования позволяет:

* Спроектировать последовательность обработки деталей;
* Рассчитать возможность достижения определённой точности обработки на операциях и установах;
* Выбрать рациональную конструкцию приспособления;
* Рассчитать производительность и себестоимость технологического процесса обработки и сборки деталей машин.
  1. **Классификация баз**

База (базовая поверхность) – поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, или точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования.

Заготовка, устанавливаемая на станке для обработки, должна иметь определённый комплект баз. Так как теория базирования применяется на всех этапах изготовления изделия: конструкторском проектирование, технологическом проектирование, механической обработке, измерение и контроле, то и базы подразделяются по своему назначению на конструкторские, технологические и измерительные базы.

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Конструкторская база может быть основной и вспомогательной.

Основная конструкторская база–база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения её положения в изделии.

Вспомогательная конструкторская база – база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения при соединяемого к ним изделия (рисунок 2.3).

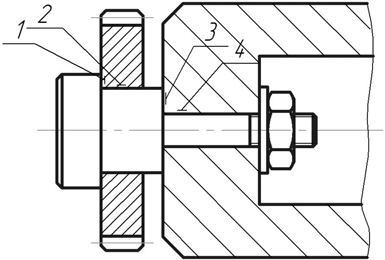
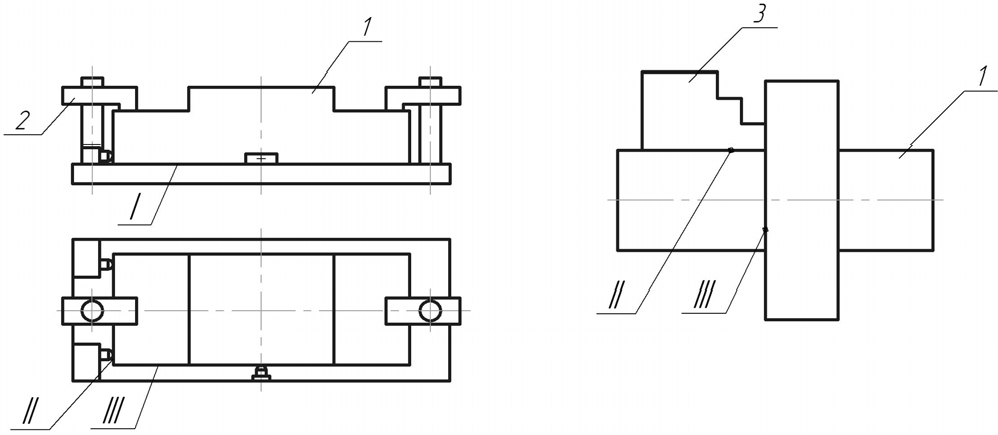


Рисунок 2.3. Конструкторские базы оси паразитной шестерни в узле:1 и 2–вспомогательные конструкторские базы;

3 и 4–основные конструкторские базы

Необходимость такой классификации конструкторских баз вызвана различным влиянием основных и вспомогательных баз на конструирование нового изделия (выбор сопрягаемых поверхностей деталей и изделия, простановку размеров, разработку кинематических норм точности и т.д.), а, следовательно, и на проектирование технологического процесса изготовления нового изделия.

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте (рисунок 2.4).



а) б)

Рисунок 2.4. Комплект технологических баз, определяющих положение заготовоквприспособлениях:1–заготовки;2–фрезерное приспособление;

3– токарный патрон; I, II и III–технологические базы

Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

На рисунке 2.5 показано приспособление для контроля параллельности поверхности *1* относительно поверхности *2*(она же измерительная база *А*).

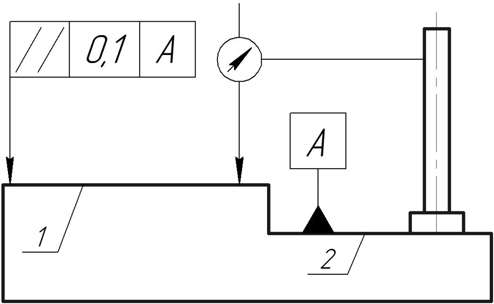


Рисунок 2.5. Измерительная база 2 заготовки при контроле параллельности поверхностей 1 и 2

Независимо от своего назначения конструкторские, технологические и измерительные базы, по лишаемым ими степеням свободы у заготовки, могут быть: установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные.

Установочная база – база, лишающая заготовку или изделие трёх степеней свободы, а именно: перемещения вдоль одной координатной оси и

поворотов вокруг двух других осей. На рисунке 2.4, *а* установочной базой может служить поверхность *I*.

Направляющая база – база, лишающая заготовку или изделие двух степенейсвободы, а именно: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси. Примером направляющей базы является поверхность *II* на рисунке 2.4, *а*.

Опорная база – база, лишающая заготовку или изделие одной степени свободы, а именно: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокругоси.

Примером опорной базы является поверхность *III* на рисунке 2.4,а,б.

Двойная направляющая база – база, лишающая заготовку или изделие четырёх степеней свободы, а именно: перемещения вдоль двух координатных осей и поворотоввокруг тех жеосей.

Примером применения двойных направляющих баз является установка длинных цилиндрических заготовок в трёхкулачковом патроне (рисунок 2.4, *б*,),на оправках или призмах (рисунок 2.6). В этом случае наружная цилиндрическая поверхность или ось отверстия будут являться двойной направляющей базой.

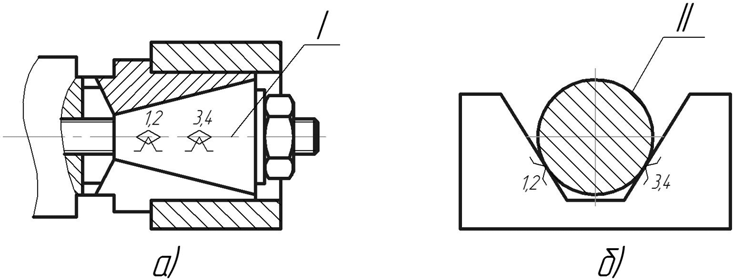


Рисунок 2.6. Варианты базирования заготовок в различных приспособлениях:

а) в разжимной оправке; б) в призме; I – скрытая двойная направляющая база (виде оси отверстия),II–двойная направляющая база,

Двойная опорная база – база, лишающая заготовку или изделие двух степенейсвободы, аименно: перемещения вдоль двух координатных осей.

Примером применения двойной опорной базы может служить базирование заготовок типа «диск» в трёхкулачковый патрон (рисунок 2.7, *а*), или на цилиндрический палец (рисунок 2.7,*б*).

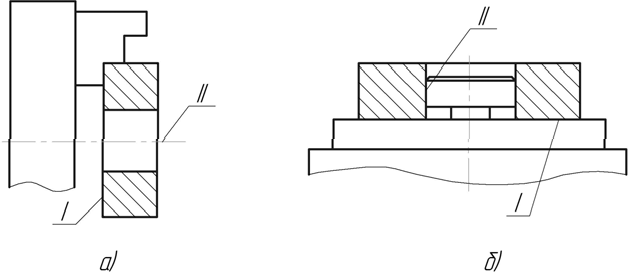


Рисунок 2.7. Базирование заготовки детали типа «диск» в трёхкулачковом патроне с упором по торцу и наплоскость с координацией на ней попальцу:

I–установочная база;II–двойнаяопорная база

Полная ориентация детали, предусматривающая лишение всех степеней свободы необходима только в неподвижных соединениях изделий и сборочных единиц. В подвижных соединениях, детали или сборочные единицы должны иметь определённые степени свободы. Например, шпиндели станков, салазки суппортов, шатунно-поршневая группа двигателя внутреннего сгорания ит.д.

При обработке деталей на станках, с установкой их в приспособлениях, в ряде случаев нет необходимости в полной ориентировке заготовок в пространстве сиспользованием комплекта баз, обеспечивающего лишение всех шести степеней свободы.

Чем меньше степеней свободы отнимается у заготовки при выборе схемы базировании, тем проще и экономичнее конструкция применяемого приспособления и легче наладка станка.

На рисунке 2.8 а,б,в, показаны схемы наладок трёх технологических операций с различными схемами базирования, отнимающих у заготовок разное количество степеней свободы:

а) плоскошлифовальная операция для обработки плоской заготовки с применением магнитного стола в качестве приспособления (в схеме базирования используется установочная база, отнимающая у заготовки три степени свободы);

б) бесцентровое шлифование для обработки заготовки типа вала с применением установочного ножа в качестве приспособления (в схеме базирования используется двойная направляющая база, отнимающая у заготовки четыре степени свободы);

в) сверлильная операция для обработки на валу отверстия с применением сложного комплексного приспособления (в схеме базирования используются двойная направляющая и две опорные базы, отнимающие у заготовки шесть степеней свободы).

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что с увеличением количества степеней свободы, используемых в схеме базирования, усложняется и конструкция приспособления.

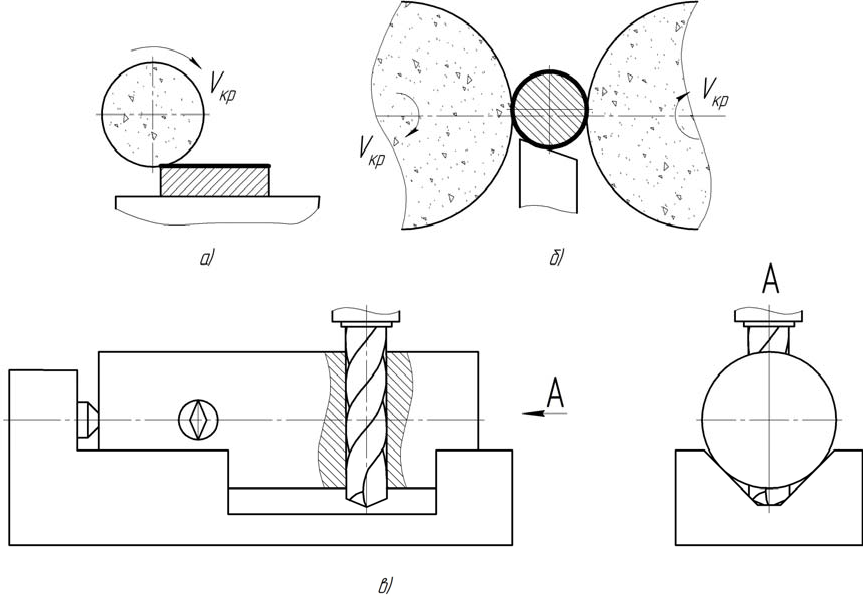


Рисунок 2.8. Обработка заготовок деталей с использованием различных приспособлений и комплектов баз:

а) магнитный стол и установочная база;

б) опорный нож и двойная направляющая база;

в) комплексное приспособление на основе призмы с двойнойнаправляющейидвумяопорными базами

По характеру проявления на схемах базирования заготовок, в процессе их разработки, базы могут быть явные и скрытые.

Явная база – база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок (рисунок 2.4– базы *I*, *II* и *III* и, рисунок 2.7 –база *I*).

Скрытая база – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки (рисунок 2.6 и рисунок 2.7 –база *II*).

Нередко, заданная чертежом, конфигурация детали, точность размеров и пространственных отклонений её поверхностей не позволяют обеспечить надежную схему базирования. В таких случаях, на первых операциях механической обработки, создаются искусственные технологические базы, представляющие собойдополнительную поверхность или их совокупность, которые используются для базирования, но не требуются для выполнения служебного назначения детали.

Характерными примерами искусственных технологических базовых поверхностей являются:

* при обработке заготовок валов – два центровых отверстия, которые не требуются для работы вала в машине, но необходимы для быстрой и точной установкивала в приспособлении (рисунок 2.9);
* при обработке заготовок корпусных деталей – одно или два дополнительныхотверстия, получаемые на стенках корпуса, на первых технологических операциях, для координации его расположения с помощью штифтов на установочной базовойповерхности.

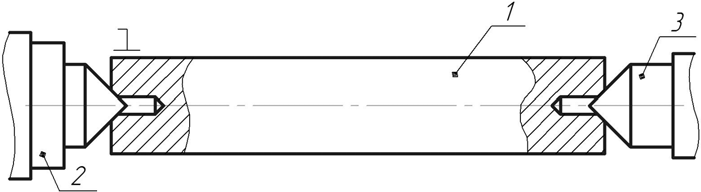


Рисунок 2.9.Базирование заготовки вала в центрах станка:

1–заготовка вала; 2–центр упорный; 3–центр подвижный

Иногда искусственной технологической базойявляется поверхность, имеющаяся на детали, но технические требования на неё, при выполнении технологического процесса, технологом задаются более жесткие, чем указаны на конструкторскомчертеже.

Примером является технология обработки заготовки поршня ДВС, где искусственной технологической базой на ряде операций является внутренний диаметрбазового пояска, допуск на который задается технологически более жёстко, чем требуется по чертежу (рисунок 2.10).

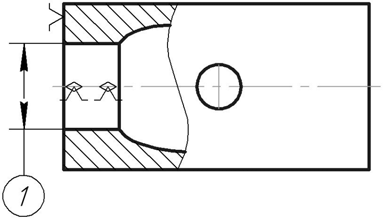


Рисунок 2.10. Схема базирования заготовки поршня ДВС при механической обработке:1-базовый поясок(искусственная технологическая база)

В начальной стадии разработки технологического процесса, на каждую операцию составляется теоретическая схема базирования с указанием комплекта баз, необходимых для достижения определенного положения обрабатываемой заготовки относительно системы координат станка. При дальнейшей детальной проработке технологическогопроцесса и разработке конструкции приспособленияопределяются типы опор и зажимных устройств, которые на операционных эскизах обозначаются условными символами, согласно требованиям ГОСТ3.1107–81.

* 1. **Установка заготовки на станке**

Под установкой заготовки понимается процесс базирования и закрепления заготовки. И если базирование это придание заготовке определённого положения относительно выбранной системы координат станка, то закрепление – это приложение сил или пар сил к заготовке для обеспечения постоянства положения, достигнутого при базировании.

Таким образом, после закрепления заготовки в приспособлении понятие наличия определенного количества степеней свободы в выбранной схеме базирования у заготовки перестает существовать.

Правильная установка заготовки в приспособлении обеспечивает:

* заданное, при разработке схемы базирования, положение заготовки относительно выбранной системы координат станка;
* надежную связь заготовки со станком относительно режущего инструмента, которая должна быть постоянной при воздействии сил резания в процессе механической обработки;
* минимально возможные деформации заготовки под воздействием усилий закрепления и сил резания.

Существуют два основных способа установки заготовок при их механической обработке в различных типах производства.

1. Установка непосредственно на станке.

При этом способе производится вручную выверка и разметка положения заготовки относительно системы координат станка. Способ характеризуется большими затратами времени на выверку, разметку и установку, и применяется в единичном и мелкосерийном производствах.

1. Установка в приспособлении.

При этом способе производится автоматическое быстрое и точное ориентирование заготовки относительно системы координат станка. Способ не требует разметки и выверки, и применяется в серийном и массовом производствах.

* 1. **Определённость базированния заготовок при изготовлении партии деталей**

Для стабильного получения выполняемых размеров в процессе механической обработки партии деталей необходимо обеспечить определённость базирования каждой заготовки в обрабатываемой партии, сохраняя при этом выбранные схемы базирования заготовки на каждой операции.

Под определённостью базирования понимается одинаковость положения всех заготовок обрабатываемой партии при закреплении их в приспособлении.

Определённость базирования обеспечивается правильным выбором количества и взаимного расположения базовых поверхностей и опорных точек при разработке схем базирования заготовок на операциях.

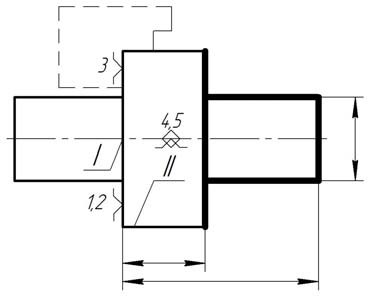
Количество базовых поверхностей должно быть не более трёх, а опорных точек не более шести, расположенных в трёх взаимно-перпендикулярных плоскостях. Использование большего количества опорных точек и базовых поверхностейне увеличивает точность базирования, а приводит к неопределённости в схеме базирования. На рисунке 2.11 показана теоретическая схема базирования заготовки в трёхкулачковом патроне. В схеме базирования используются две технологические базы (торец детали *I* и наружная поверхность *II*).

Рисунок 2.11.Теоретическая схема базирования заготовки при изготовлении в трёхкулачковом патроне:

–установочная база (возможен её переход в опорную базу);

– двойная опорная база (возможен её переход в двойную направляющую базу).

При этом возможны следующие варианты изменения баз:

* если кулачки патрона в точках касания с цилиндрической поверхностью заготовки имеют точечный контакт (как определено выбранной схемой базирования), то поверхность *I* является установочной базой, а поверхность *II* – двойнойопорной;
* если в точках касания кулачков и заготовки нарушен точечный контакт, топоверхность *I* становится опорной базой, а поверхность *II* – двойной направляющей.

Таким образом, появляется неопределённость базирования при обработке данной партии деталей из-за возможных нарушений выбранной схемы базирования. При такой обработке заготовок возможно произвольное обеспечение разных техническихтребований:

* при выбранной схеме базирования должен обеспечиваться допуск параллельности базовой поверхности *I* и обрабатываемых торцевых поверхностей детли;
* при нарушении выбранной схемы базирования и произвольном переходе надругой комплект технологических баз, будет обеспечиваться допуск соосности базовой поверхности *II* и обрабатываемой цилиндрической поверхности.

При обработке нежёстких заготовок (длинные валы, тонкостенные втулки и корпуса) иногда требуется наличие дополнительных базовых устройств, используемых для увеличения жесткости. Это могут быть подвижные, регулируемые или плавающие опоры, которые не нарушают выбранную схему базирования, перегружая ее дополнительными опорными точками. На рис. 2.12 показано применение люнета при обработке длинного нежёсткого вала.

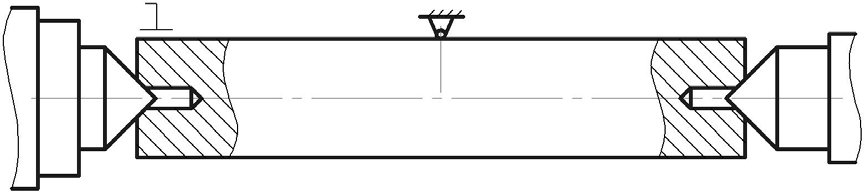


Рисунок 2.12.Использование люнета при базировании заготовки вала в качестве подвижной опоры, ненарушающей схему базирования

Для того чтобы сохранить во время обработки неизменной схему базирования заготовки относительно системы координат станка, заготовку необходимо закрепить в приспособлении, создав силовое замыкание. Закреплением должна быть обеспечена полная неподвижность обрабатываемой заготовки в приспособлении, т.е. она должна быть лишена всех шести степеней свободы (в то время как при базировании возможны комбинации из 3, 4 ,5 или 6 накладываемых на заготовку двухсторонних связей). Приложенные силы, обеспечивающие силовое замыканиеи постоянный контакт заготовки и приспособления должны быть больше сил и их моментов, стремящихся нарушить этот контакт.

В процессе обработки наиболее сильное воздействие на заготовку оказывается силами резания и температурными деформациями в зоне обработки. Если заготовка при обработке деформируется или смещается под действием таких сил, то возможно снижение или полная потеря (брак) точности обработки на данной операции. Чтобы избежать подобной потери точности на операции, при проектировании конструкции приспособления рассчитываются усилия закрепления, превышающие действующие на операции силы резания.

Для закрепления заготовки в приспособлении применяются различные зажимные устройства (механические, гидравлические, пневматические, магнитные, вакуумные, электрические). Практически у всех этих механизмов принцип действия основан на использовании сил трения.

При расчёте усилий закрепления необходимо учитывать, что чрезмерное их превышение может привести (рисунок 2.13):

* к пластической деформации опорных поверхностей на заготовке (что может повлиять на качество обработанных ранее поверхностей);
* к деформации заготовки, а, следовательно, и к возможному нарушению выбранной схемы базирования.

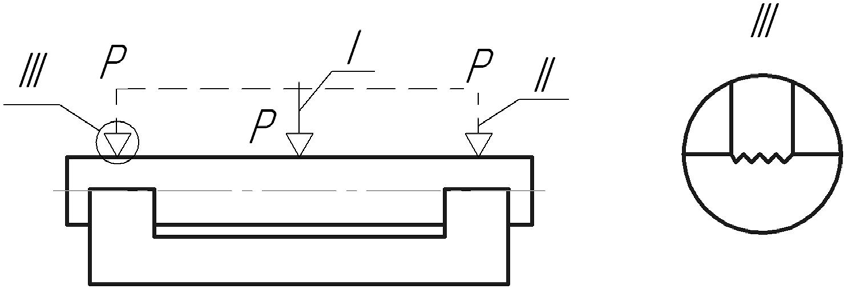


Рисунок 2.13.Возможные схемы закрепления заготовки вала в призме:

I – закрепление, при котором возможно искривление оси вала;II– правильное закрепление; III –пластическая деформация материала заготовки из-за превышения усилий закрепления

Во избежание этого проводятся проверочные расчёты на контактные напряжения, которые не должны превышать предела упругости материалов детали и опор приспособления.

Также рассчитываются и возможные деформации заготовки (прогиб, искривление оси, нарушение параллельности и перпендикулярности поверхностей), которые обычно задаются в частях от допуска на обработку.

* 1. **Погрешность базирования, закрепления и установки заготовок при механической обработке**

Согласно ГОСТ 21495–76 погрешность базирования – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого. Погрешность установки – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого отклонения.

Под требуемым положением заготовки понимается такое положение установочных элементов, при котором система координат заготовки совпадает с системой координат станка или приспособления.

При обработке партии деталей на настроенных станках рассматривается нефактическая погрешность базирования каждой детали из партии, а погрешность базирования как поле рассеивания всех размеров деталей данной партии. Величины максимальной и минимальной возможной погрешности базирования можно определить расчётным путем для каждой схемы базирования.

Так при установке заготовки ступенчатого вала в трёхкулачковом патроне супором по торцу погрешность базирования может быть равна (числено) колебанию положения технологической базы относительно настроенного на выполнение данного размера инструмента (рисунок. 2.14). При этом погрешность формы торца заготовки как технологической базы формируется на предшествующих операциях.

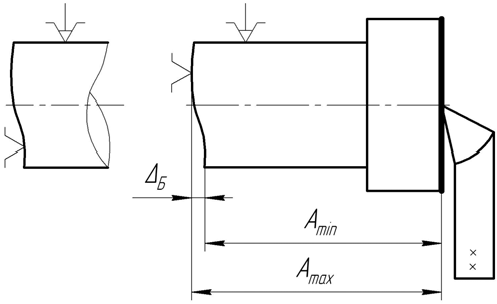


Рисунок 2.14. Схема установки заготовки ступенчатого вала в трёхкулачковый патрон супором по торцу: б–погрешность базирования;

А max и A min – колебание размеров технологической базы в направлении выполняемого размера

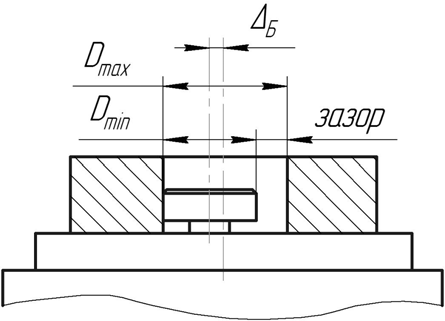
На рисунке 2.15 показана схема базирования заготовки детали типа «диск» на цилиндрический палец.

Рис.2.15.Схема базирования заготовки детали типа «диск» на палец:

Dmax,Dmin–колебание размеров отверстия в обрабатываемой партии;

б–погрешность базирования

Из-за возможных колебаний положения скрытой технологической базы в виде оси внутреннего отверстия «диска» в обрабатываемой партии деталей, имеет место погрешность базирования в виде отклонения оси отверстия от оси пальца из-за наличия зазора при посадке заготовки на палец приспособления.

На рисунке 2.16 показана схема базирования заготовки гладкого вала в призму.

Из-за возможных колебаний размеров технологической базы в виде наружного диаметра вала в обрабатываемой партии деталей, имеет место погрешность базирования в виде вертикального смещения оси вала в поперечном сечении.

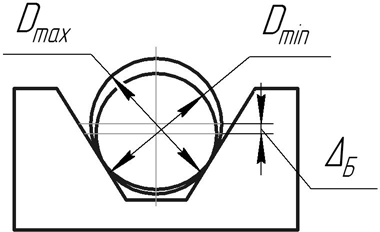


Рисунок 2.16.Схема базирования заготовки гладкого вала в призму:

Dmax, Dmin–колебание размеров технологической базы;

б–погрешность базирования

Погрешность базирования можно уменьшить или даже полностью исключить. Для этого необходимо правильно выбирать схему базирования для конкретной заготовки и более точно обрабатывать базовые технологические поверхности.

Так, например, для исключения зазора при базировании на оправку (рисунок 2.15) применяются оправки с малой конусностью, разжимные оправки цангового или кулачкового типа.

Погрешность установки при обработке партии деталей формируется в результате действия погрешности базирования (б), погрешности закрепления ( з) и погрешности приспособления(пр).

В общем виде она может быть представлена как векторная сумма этих погрешностей:

∆у = ∆б + ∆з + ∆пр. (2.1)

Погрешность закрепления возникает вследствие деформации заготовки или её смещения из-за действия усилий зажима. Но усилия зажима непостоянны в процессе обработки партии деталей. Их величина зависит от колебаний давления сжатого воздуха в сети или масла в гидросистеме, колебаний сил магнитного зажима или силы тока в цепи, колебаний усилий ручного зажима. Также имеют место и колебания упругих деформаций заготовок из-за различной поверхностной твёрдости и размеров заготовки в зажимаемых сечениях.

Поэтому прогнозирование погрешности закрепления при обработке партии деталей возможно лишь с использованием среднестатистических полей рассеивания погрешностей закрепления для типовых приспособлений.

Погрешность приспособления возникает из-за наличия геометрических погрешностей элементов приспособления при его изготовлении, износа во время эксплуатации опорных рабочих поверхностей, а также из-за неправильной установки приспособления на рабочем столе станка.

При практических расчётах общая погрешность установки, возникающая приобработке партии деталей на настроенных станках, определяется в соответствии справиламисуммирования случайныхвеличин поформуле:

∆у = ∆б + ∆з + ∆пр . (2.2)

* 1. **Смена баз, принципы единства и совмещения баз**

Смена баз – преднамеренная или случайная замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам.

При проектировании технологических процессов технолог рассматривает изменение размеров детали от исходной заготовки до детали на контрольной операции, т.е. по всему технологическому процессу. При этом размеры детали в процессе их обработки изменяются от операции к операции в определённом направлении. Эту направленность необходимо учитывать при определении расположения поверхностей при базировании по мере их обработки.

С точки зрения конструирования детали, безразлично от какой поверхности, и в каком направлении проставляются размеры. Их направленность не влияет на выбор конструкторских баз.

Технолог же, в процессе обработки детали проставляет размеры от той поверхности, которая была обработана на предыдущей операции и на данной операции является базовой. Таким образом, у технолога размер получает направление с учётом выбора технологических баз.

Технологические базы, выбранные для обработки детали, могут совпадать или не совпадать с конструкторскими базами на рабочем чертеже детали. Следовательно, и схема простановки операционных размеров может совпадать или несовпадать со схемой простановки конструкторских размеров. И, возможно, потребуется пересчёт полученных после обработки размеров, для проверки заданных по чертежу конструкторских размеров.

Поэтому вопрос о выборе технологических баз при обработке заготовки и простановке операционных размеров от этих баз на операциях механической обработки, является наиболее важным при проектировании технологических процессов.

В процессе разработки технологических процессов, решая вопросы выбора баз, следует стремиться к соблюдению принципов совмещения и единства баз.

Сущность принципа совмещения баз заключается в том, что в качестве технологической базы принимается поверхность, которая является также конструкторской и измерительной базой. Учитывая это, технолог при проектировании техпроцесса должен анализировать не только рабочие чертежи детали, но и чертежисборочных узлов. Конструктор также должен при проектировании детали учитывать возможность совмещения выбранных им конструкторских баз с технологическими и измерительными базами.

Несоблюдение этого принципа приводит к необходимости пересчёта размеров, определяющих взаимное расположение поверхностей. При этом возможно появление дополнительной погрешности обработки, а, следовательно, и необходимость применения дополнительных операций. Это может привести к снижению производительности обработки и увеличению себестоимости изготовления детали.

В качестве примера рассмотрим два варианта обработки призматической детали на операции фрезерования (оп. 005) и операции сверления (оп. 010) (рисунок 2.17).

Поверхность *2* на операциях фрезерования (оп. 005) в обоих вариантах обрабатывается с установкой по технологической базе *1* (от неё задаётся операционный размерАо), которая совпадает с конструкторской базой (от неё задан размер *Ак*). В этом случае допуск конструкторского размера *Ак* обеспечивается за счёт выполнения допуска одного операционного размера Ао. Пересчёта размеров не требуется.

А вот при обработке отверстия на операциях сверления (оп. 010) возможно применение двух вариантов обработки.

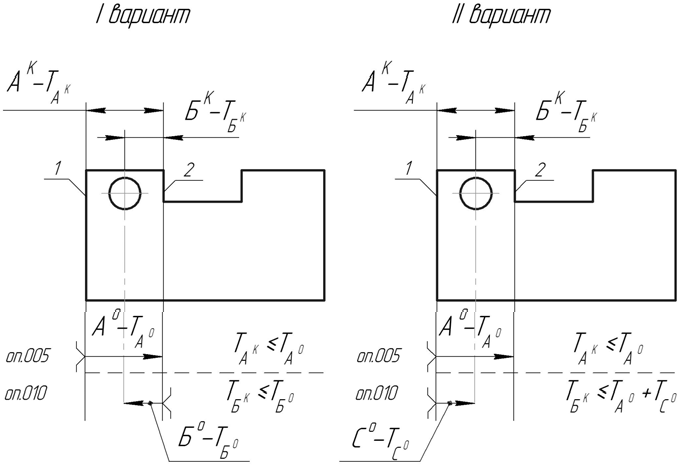


Рисунок 2.17. Операционные эскизы обработки призматической заготовки: I–при совмещении технологической и конструкторской баз;

II–при несовмещении технологической и конструкторской баз

В *I* варианте отверстие обрабатывается с установкой по технологической базе *2* (от неё задается операционный размер *Бо*), который совпадает с конструкторской базой (от неё задан размер *Бк*). В этом случае допуск конструкторского размера Бк обеспечивается за счёт выполнения допуска одного операционного размера *Бо*.

Во *II* варианте в качестве технологической базы при обработке отверстия на оп. 010 принимается поверхность *1*, т.е. та же база, что и при фрезеровании на оп.005. Это позволяет использовать на операции сверления приспособление, аналогичное фрезерному приспособлению, или даже произвести обработку в одном приспособлении на одной операции за два перехода. Эти мероприятия позволяют уменьшить себестоимость изготовления детали.

С другой стороны, во втором варианте нарушается принцип совмещения баз, конструкторская база *2* не совпадает с технологической базой *1*. Это приводит к необходимости пересчёта размеров, так как допуск конструкторского размера Бк обеспечивается за счёт выполнения уже двух размеров *Ао* и *Со*, допуск которых необходимо уменьшать по сравнению с первым вариантом.

Следовательно, несовпадение технологической и конструкторской базой приводит к необходимости ужесточения допусков на операционные размеры. Величина допуска размера между технологической и конструкторской базами–*Ао*.

В тех случаях, когда совмещение технологических и конструкторских баз невозможно, необходимо стремиться к тому, чтобы обработка на этих операциях велась от одних и тех же базовых поверхностей. Эти поверхности должны быть обработаны в окончательные размеры с минимальными чертёжными допусками на размеры до конструкторских баз.

Это положение при проектировании технологических процессов получило название принципа единства баз. Осуществление этого принципа снижает погрешности взаимного расположения обработанных поверхностей. Объясняется это тем, что каждая смена баз приводит к возникновению дополнительных погрешностей обработки, а, следовательно, и к пересчёту допусков выполняемых размерови к их уменьшению. Все это, в свою очередь, приводит к усложнению обработки детали и увеличению себестоимости её изготовления.

Рассмотрим пример обработки двух отверстий с использованием различных технологических баз (рисунок 2.18).

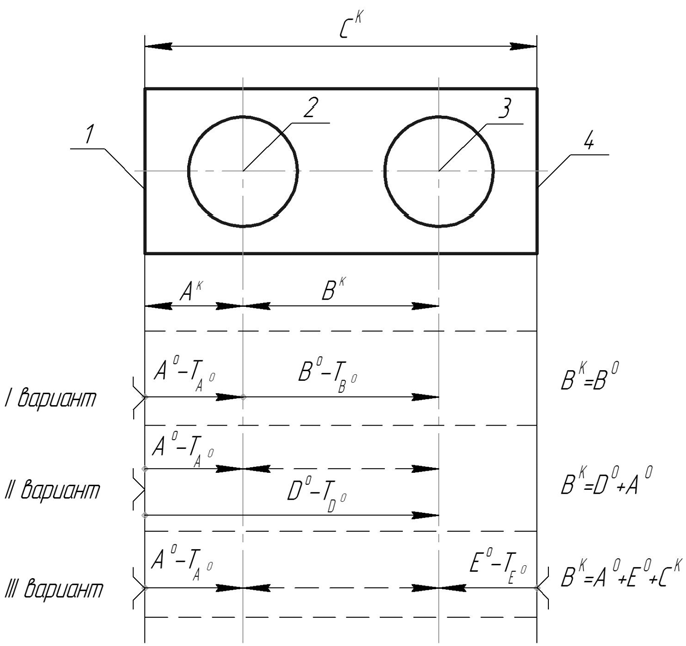


Рисунок 2.18. Схемы обработки двух отверстий на заготовке при использовании различных технологических баз

В первом варианте обработка отверстий на заготовке производится от технологических баз *1* и *2*, которые одновременно являются и конструкторскими базами. Поэтому допуск конструкторских размеров *Ак* и *Вк* обеспечивается за счёт выполнения допусков операционных размеров *Ао* и *Во*. Пересчёта размеров вданном случае не требуется.

Во втором варианте обработка отверстий на заготовке производится от технологической базы 1, которая при выполнении операционного размера *Ао* совпадает с конструкторской базой, а при выполнении операционного размера *До* не совпадает с конструкторской базой. Это приводит к тому, что конструкторский размер *Вк* будет формироваться как результат выполнения двух операционных размеров *Ао* и *До*, а его допуск будет равен сумме допусков этих операционных размеров. Следовательно, возможно появление погрешности обработки из-за несовпадения технологической и конструкторской базы.

В третьем варианте обработка отверстий на заготовке производится за два установа заготовки. В первом установе технологическая база *1* совпадает с конструкторской базой, и нет необходимости пересчёта размеров. При втором установе заготовки технологической базой уже является поверхность *4*, которая не совпадает с конструкторской базой *2*. Это приводит к тому, что конструкторский размер *Вк* будет формироваться как результат выполнения уже трёх размеров: двухоперационных размеров – *Ао* и *Ео* и одного конструкторского размера – Ск (который был получен ранее на другой операции). В данном варианте возможность появления погрешности обработки для конструкторского размера Вк возрастает многократно, при этом ужесточение допусков на операционные размеры на двух операциях будет практически невыполнимо.

* 1. **Выбор баз при проектировании технологических процессов**

Рекомендации по выбору баз при проектировании технологических процессов необходимо рассматривать с учётом классификации баз по месту их нахождения в технологическом процессе обработки детали. По месту расположения в технологическом процессе базы условно подразделяются на черновые, промежуточные и чистовые базы.

Технологические базы, используемые для установки исходной заготовки в приспособлении на первой операции, называются черновыми базами.

Для правильного выбора комплекта черновых технологических баз необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. Если по конструкторскому чертежу детали на ней имеются поверхности, которые не требуют обработки после заготовительной операции, то в качестве черновых баз рекомендуется выбирать именно эти поверхности. Это облегчает обеспечение заданных размерных связей между обработанными и необработанными поверхностями в готовой детали.
2. Если по конструкторскому чертежу предусматривается обработка всех поверхностей на детали, то за черновую базу рекомендуется принимать поверхность, имеющую наименьший припуск на обработку. Это позволяет расположить снимаемые припуски симметрично (параллельно) обрабатываемым поверхностямдля того, чтобы в дальнейшем избежать появления «черноты» при обработке поверхностей с наименьшим припуском после смены черновых баз.
3. Поверхности исходной заготовки, принимаемые в качестве черновых баз, должны быть по возможности простыми, правильной геометрической формы, снаименьшей шероховатостью, без заусениц, литейных уклонов, уклонов от разъёма штампов, литников, прибылей, выпоров, очищены от окалины и шлака. Они должны иметь достаточные размеры для обеспечения надёжной установки заготовки в приспособлении.
4. Комплект черновых технологических баз можно использовать только один раз: для первой установки исходной заготовки на станке. После первой операции они должны быть заменены чистовыми или промежуточными базами. Повторная установка заготовки на последующих операциях по черновым технологическим базам недопустима.

После окончания первой операции дальнейшая обработка заготовки должна производиться от других базовых поверхностей: промежуточных или чистовых. Если следовать принципу единства баз, то необходимо исключать промежуточные технологические базы (если это возможно), а сразу переходить к использованию чистовых технологических баз.

Для правильного выбора комплекта чистовых технологических баз необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

1. В качестве чистовых технологических баз следует принимать поверхности, являющиеся одновременно конструкторскими и измерительными базами (если это возможно), т.е.соблюдать принцип совмещения баз.
2. В качестве чистовой базовой поверхности следует принимать ту поверхность, от которой задан наиболее точный размер и которая имеет наименьшие пространственные отклонения.
3. Принятые в качестве баз поверхности должны обеспечивать наиболее простую и надежную конструкцию приспособления. Они должны отнимать у заготовки как можно меньше степеней свободы и обеспечивать определенность базирования обрабатываемой партии.
4. Принятые в качестве баз поверхности должны быть расположены таким образом, чтобы в процессе обработки усилия резания и силы закрепления не вызывали на детали дополнительных упругих деформаций или смещений.
5. В процессе выполнения всего технологического процесса необходимо стремиться к обеспечению принципа единства баз, так как каждая смена баз на технологических операциях приводит к появлению дополнительной погрешности обработки.

**2.8 Основные комбинации комплектов технологических баз, применяемые при механической обработке заготовок деталей**

В большинстве технологических процессов обработка заготовок деталей производится за несколько операций, на которых могут использоваться различные комплекты технологических баз.

На основе производственного опыта можно обобщить и выделить наиболее часто используемые комбинации комплектов технологических баз при обработке различных, по геометрической конфигурации и назначению, заготовок деталей.

Так для обработки заготовок деталей, имеющих ось вращения, на операциях точения, фрезерования, шлифования и т.д., чаще всего используются следующие комплекты технологических баз (рисунок 2.19):

* наружная цилиндрическая поверхность и торец заготовки (используется приобработке заготовок коротких жёстких валов, втулок, шестерён с установкой в трёхкулачковых патронах супором по торцу – рисунок 2.19,*а*);
* внутренняя цилиндрическая поверхность и торец заготовки (используется при обработке заготовок втулок, шестерён и шкивов с посадочными отверстиям поршней ДВС с установкой в трёхкулачковых патронах, разжимных цанговых оправках – рисунок 2.19, *б*);
* два центровых отверстия (используется при обработке заготовок длинных нежёстких валов для обеспечения диаметральных размеров с установкой в центрах станка с поводковым патроном, при этом передний центр станка неподвижный– рисунок 2.19, *в*);
* два центровых отверстия и торец заготовки (используется при обработке заготовок длинных нежёстких валов для обеспечения диаметральных и осевых размеров с установкой в центрах станка с поводковым патроном, при этом передний центр станка плавающий– рисунок 2.19, *г*).

Для обработки заготовок корпусных деталей различных конфигураций на операциях фрезерования, сверления, шлифования, протягивания и т.д., чаще всего используются следующие комплекты технологических баз:

* три взаимноперпендикулярные плоскости;
* плоскость и два отверстия (или пальца), оси которых перпендикулярны этой плоскости;
* две плоскости и отверстие (или палец), ось которого перпендикулярна одной из плоскостей.

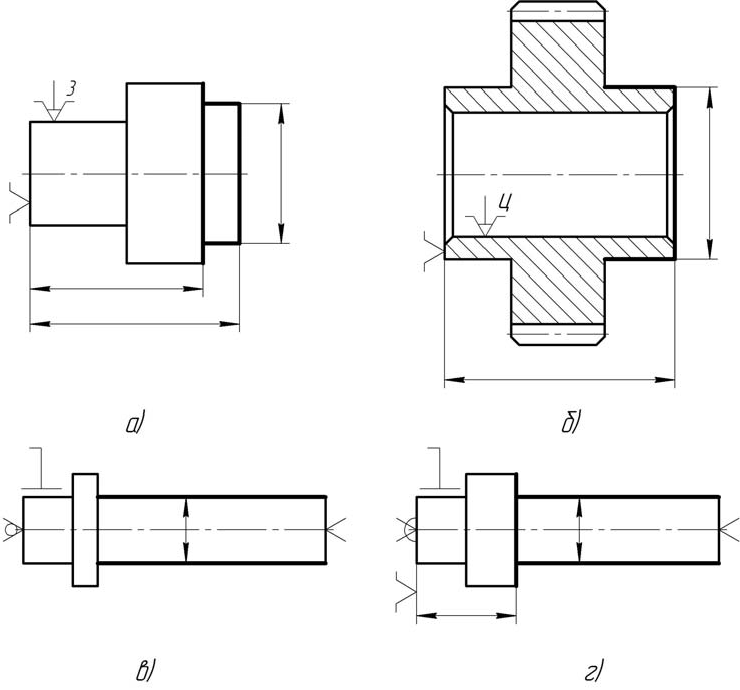


Рисунок 2.19. Комбинации комплектов технологических баз, используемыеприобработкезаготовоктелвращения

Кроме перечисленных, наиболее распространённых комбинаций, в практике могут применяться и другие комбинации комплектов технологических баз, которые совмещают в себе одновременно базовые элементы, используемые как приобработке заготовок тел вращения, так и при обработке корпусных заготовок. Обычно это уже сложные комплексные приспособления, которые специально проектируются для определённых технологических операций.

#### Раздел III. Точность обработки деталей на станках

* 1. **Основные понятия о точности обработки**

Качество изготовления машин является основным показателем машиностроительного производства. К основным характеристикам качества машин можно отнести безотказность функционирования, долговечность, производительность, коэффициент полезного действия, уровень шума, безопасность, удобство и простотуобслуживанияит.д.

Количественное значение различных показателей качества может устанавливаться:

* на стадии разработки проектного задания как уровень, к которому необходимо стремиться при проектировании изделия;
* в процессе проектирования как результат, полученный при разработке данной конструкции машины.

Значение показателей качества определяется в результате проведения заводских испытаний или контрольных промеров. При этом полученные показатели качества могут иметь определенные колебания в некотором интервале, при условии, что была изготовлена партия машин. Некоторые показатели качества могут быть определены только в результате наблюдения и изучения работы машины вусловиях потребительской эксплуатации. Качество машины складывается из качества деталей, из которых она состоит и качества сборки этих деталей. Одним изнаиболее важных показателей качества деталей является точность их изготовления.

Под точностью обработки деталей на станках понимается степень соответствия реальной детали некоторому геометрически правильному прототипу.

СогласноГОСТ4.433–86 точность обработки включает в себя:

* точность выполнения размеров между поверхностями детали (определяется квалитетом или допуском с верхними и нижними отклонениями);
* точность формы и взаимного расположения поверхностей (определяется отдельными техническими требованиями или принимается в процентах от допусканаразмердо данной поверхности);
* качество поверхностей детали (определяется шероховатостью, волнистостью, твердостью, остаточными напряжениями).

Изготовить деталь, а тем более партию деталей, каждая из которых соответствовала бы геометрически правильному прототипу, невозможно. Поэтому на каждый показатель точности устанавливается некоторый интервал возможных значений, который называется допуском, и величина которого обосновывается служебным назначением детали в узле. В чертеже детали на размеры между поверхностями устанавливаются допуска, определяющие границы допустимых отклоненийэтих размеров для обеспечения служебного назначения детали. Эти допуски описываются соответствующими стандартами единой системы допусков и посадок (ЕСТДП) и распространяются на гладкие и несопрягаемые элементы деталей с номинальными размерами до 10000 мм (ГОСТ 25346–82, ГОСТ 25347–82, ГОСТ 25348–82). Степени точности по ЕСТДП называются квалитетами. Установлено 19 квалитетов, в которых точность убывает с возрастанием квалитета.

При задании точности формы и расположения поверхностей используется ГОСТ 24643–81, который предусматривает16 степеней точности.

Под отклонением формы поверхности понимается отклонение реальной поверхности от формы номинальной поверхности, например: отклонение от круглости, от прямолинейности,от плоскости и т.д.

Под отклонением расположения поверхности понимается отклонение реального расположения рассматриваемой поверхности от её номинального расположения, например: отклонения от параллельности, соосности, перпендикулярности,торцевоеирадиальноебиение и т.д.

Обозначение на чертежах детали допусков формы и расположения поверхностей производится двумя способами:

* условным обозначением на участке поверхности детали;
* текстом в технических требованиях.

Заданную точность размеров и формы нельзя получить без учёта волнистостии шероховатости поверхности. Высокой размерной точности должна соответствовать низкая шероховатость. При измерении размеров и отклонений формы высота микронеровностей на поверхности может входить как составляющая измеряемого параметра.

Так же в практике используются такие показатели качества поверхности как её микротвёрдость, величина и направление напряжений, которые определяют износостойкость и долговечность работы машины.

* 1. **Способы достижения заданной точности обработки деталей на металлорежущих станках**

Точность обработки детали формируется последовательно на всех операциях технологического процесса. Чем выше требования к точности изготовления деталей, тем сложнее технологический процесс их механической обработки.

Одной из основных задач, решаемых при выполнении технологического процесса обработки деталей, является обеспечение заданной точности деталей с наименьшей себестоимостью их изготовления при обеспечении заданной производительности (программывыпуска).

Заданная чертежом точность детали при обработке на станках может быть достигнута двумя основными методами.

1. Метод индивидуального получения заданных размеров и формы обрабатываемых поверхностей заготовок (метод пробных проходов).

В этом случае положение заготовки на станке обеспечивается её индивидуальной выверкой, при этом часто применяется предварительная разметка: контур будущих поверхностей наносится тонкими линиями специальным инструментом (чертилками, кернами и т.п.). Припуск на обработку, в большинстве случаев, снимается за несколько рабочих ходов инструмента. После каждого рабочего хода заготовка измеряется, постепенно приближаясь к заданному размеру. Обычно первый рабочий ход выполняется не на всю длину обрабатываемой поверхности, алишь на небольшой участок, чтобы отследить возможные колебания размера. Итолько после этого обработке подвергается вся поверхность. Этот метод характеризуется низкой производительностью, а точность обработки полностью зависит от квалификации рабочего. Основная область его применения – это единичное и мелкосерийное производство.

1. Метод автоматического получения заданных размеров и формы обрабатываемых поверхностей заготовок на предварительно настроенных станках.

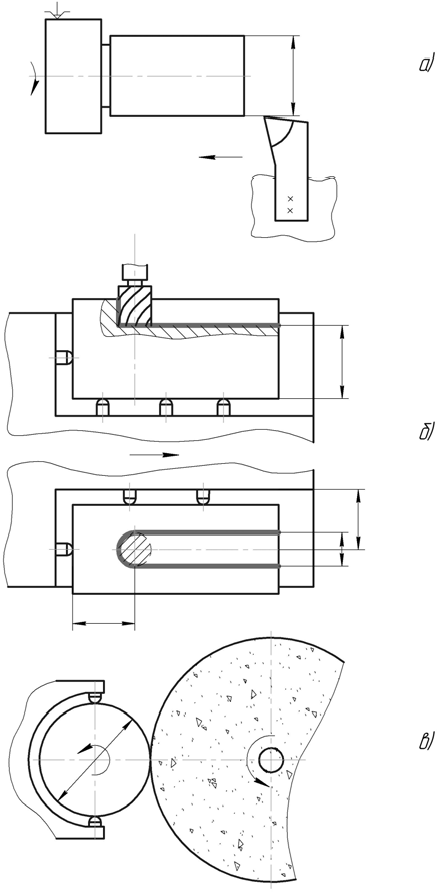


Рисунок 3.1.Схемы механической обработки заготовок деталей:

а) токарная обработка заготовки вала в трёхкулачковом патроне; б) фрезерная обработка паза в специальном приспособлении;

в) шлифования заготовки вала с использованием прибора активного контроля

В этом случае индивидуальная выверка заготовок полностью исключается, таккак их установка осуществляется в специальных приспособлениях, а требуемыеразмеры обеспечиваются за счёт соответствующей настройки режущего инструментаотносительнобазовых элементовприспособления.

Этот метод позволяет обеспечить получение стабильной точности обработкипри высокой производительности, использовать рабочих невысокой квалификации, а также даёт возможность осуществлять комплексную автоматизацию технологическихпроцессовизготовления деталей.

Основная область его применения – это серийное и массовое производство. Сущность метода автоматического получения заданных размеров можно рассмотреть на рисунке 3.1, где изображены схемы механической обработки деталей, установленных в приспособлениях с предварительно настроенным режущим инструментом. Заданные на схемах размеры получаются автоматически засчёт предварительной настройки инструмента относительно базовых элементов приспособления (рисунок 3.1, *а* и рисунок 3.1, *б*) или за счёт автоматического контроля текущего размера в процессе обработки (рисунок 3.1,*в*).

Таким образом, метод автоматического получения заданных размеров и формы обрабатываемых поверхностей характеризуется тем, что обработка деталей производится на предварительно настроенных станках с применением стандартных и специальных приспособлений с предварительной настройкой режущего инструмента.

* 1. **Погрешности обработки и основные источники их возникновения**

Точность обработки имеет своё численное выражение через погрешность обработки, которая и характеризует степень соответствия реальной детали идеальной схеме, положенной в основу метода обработки. Для правильного построения технологического процесса механической обработки, который обеспечивает получение деталей с определённой степенью точности (допустимой величиной погрешности во всей обрабатываемой партии) необходимо знать источники возникновения погрешностей, а также знать способы возможного уменьшения или исключения этих погрешностей.

Основными источниками возникновения погрешностей при обработке заготовокна станках являются:

1. Приближённость реальной кинематической схемы обработки к идеальной схемеобработки.
2. Приближённость реального профиля режущего инструмента к идеальному профилю.
3. Геометрические погрешности станка и приспособления, и их износ в процессе эксплуатации.
4. Погрешность изготовления режущего инструмента и его размерный износ в процессе эксплуатации.
5. Упругие деформации технологической системы от действия сил резания и усилий закрепления.
6. Температурные деформации станка, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки.
7. Деформации обрабатываемой заготовки от действия внутренних напряжений.
8. Погрешности настройки инструмента на размер.
9. Погрешности измерения.
10. Погрешностьустановки, определяемая погрешностями базирования и закрепления.

Факторов влияющих на возникновение погрешности обработки гораздо больше, чем было перечислено. Но учесть их все, а тем более описать какой-либо зависимостью невозможно. Поэтому были выбраны основные десять источников возникновения погрешностей обработки, влияние которых наиболее существенно. Ниже более подробно рассмотрено влияние каждого из них на точность обработкидеталей.

#### Приближённость реальной кинематической схемы обработки к идеальной схеме обработки

При обработке заготовок на станках возможно применение кинематических схем обработки, обеспечивающих лишь приближённый профиль формируемой поверхности. Отход от теоретически правильной схемы формообразования обрабатываемой поверхности возможен вследующих случаях:

* если для осуществления теоретически правильной схемы формообразования требуется кинематика движения, которая приводит к созданию сложных механизмов и металлорежущих станков на их основе;
* если механизмы станка не позволяют обеспечить с заданной точностью необходимую правильную кинематику движения;
* если по соображениям экономического характера целесообразнее заменять правильную теоретическую схему формообразования на более простую схему.

Примерами использования приближенных схем формообразования могут служить операции нарезания зубьев цилиндрических и конических зубчатых колёс. Схема формирования эвольвентного профиля зубчатого колеса прямолинейными режущими кромками зубьев фрезы по методу обкатывания показана на рисунке 3.2.

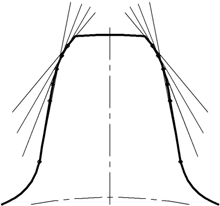
Действительный профиль, полученный этим методом, представляет собой ломаную линию, огибающую теоретическую эвольвенту, а получающаяся при этом огранка (погрешность профиля) зависит от числа резов. Чем больше число канавок на червячной фрезе, образующих режущие зубья, тем большее число резов образуют профиль обрабатываемой поверхности и тем точнее будет соответствие реального профиля эвольвенте. Но число зубьев фрезы ограничено её диаметром. Поэтому нарезание зубьев червячной фрезой даёт, как правило, худший профиль, чем зубодолбление. При зубодолбление, число резов формирующих профиль зуба, равно числу двойных ходов инструмента (долбяка), а число ходов инструмента на долбёжных станках может настраиваться в очень широких пределах.

Рисунок 3.2. Схема формирования профиля зубьев при обработке червячной фрезой методом обкатки

От такой погрешности формообразования при обработке зубьев свободен метод копирования, например шлифование зубчатого колеса, с использованием круга, заправленного под эвольвентный профиль.

В качестве примера преднамеренного изменения правильной кинематической схемы формообразования можно рассмотреть операцию фрезерования плоскости заготовки торцевой фрезой (рисунок 3.3). В этом случае ось режущего инструмента иногда наклоняется по отношению к обрабатываемой поверхности на некоторый небольшой угол. Это необходимо для того, чтобы после поворота фрезы вокруг своей оси на 180 зубья её не захватывали бы уже обработанную поверхность и не оставляли на ней рисок, ухудшающих высотные параметры шероховатости поверхности. Однако такое изменение кинематической схемы движения инструмента вызывает появление погрешности формы обрабатываемой поверхности в виде некоторой волнистости и вогнутости. Поэтому угол наклона оси фрезы принимается таким, чтобы зазор между зубьями фрезы и обработанной поверхностью был минимально возможным, и полученная погрешность формы укладывалась бы в заданный допуск.

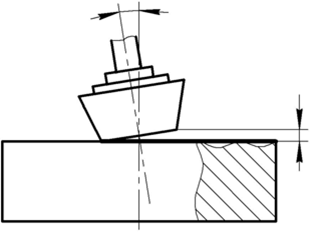


Рисунок. 3.3. Схема фрезерования плоскости торцевой фрезой с намеренно изменённой кинематической схемой движения инструмента

Таким образом, при использовании изменённых схем формообразования поверхностей при обработке заготовок, необходимо проводить оценку допускаемой погрешности с учётом требований чертежа и возможным изменением себестоимости изготовления заготовки на данной операции.

* + 1. **Приближённость реального профиля режущего инструмента к идеальному профилю**

Появление погрешности обработки на станках возможно из-за несоответствия реального профиля режущего инструмента профилю обрабатываемой поверхности. Так, например, при нарезании зубчатых колёс методом копирования профиль инструмента должен полностью совпадать с профилем впадин между зубьями. Но в таком случае для каждого числа зубьев обрабатываемого колеса одного и того же модуля потребовалась бы отдельная фреза.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах обработка зубчатых колёс методом копирования производится, как правило, модульными дисковыми фрезами. Эти фрезы изготавливаются с профилями, приближёнными к идеальным профилям, каждый из которых позволяет обрабатывать несколько смежных чисел зубьев нарезаемых колёс в определённом интервале. Обычно для каждого модуля изготавливаются наборы дисковых фрез, охватывающих с определённой точностью все числа зубьев и диаметров нарезаемых колёс.

По стандарту изготавливаются три набора из 8, 15 и 26 дисковых фрез, которыми с определённой погрешностью нарезаются зубчатые колёса с разным числом зубьев. Чем больше модуль колеса, тем сильнее будет сказываться несоответствие профилей. Для самых точных работ используется набор из 25 фрез, для менее точных работ – наборы из 15 и 8 фрез соответственно.

Таким образом, нарезание зубчатых колёс дисковыми модульными фрезами методом копирования с использованием наборов фрез приводит к появлению погрешности обработки из-за несоответствия реального профиля режущего инструмента и идеального профиля.

* + 1. **Геометрические погрешности станка и приспособления, и их износ в процессе эксплуатации**

Металлорежущие станки и приспособления состоят из деталей, которые изготавливаются с определёнными степенями точности. Поэтому после сборки технологическое оборудование имеет определённые геометрические погрешности в относительном расположении отдельных рабочих поверхностей. Эти погрешности технологического оборудования, в свою очередь, являются непосредственными источниками возникновения погрешности обработки заготовок на этом оборудовании.

Геометрическая точность новых станков и методы её проверки регламентируются соответствующими стандартами, так например:

* радиальное биение шпинделей в ненагруженном состоянии для фрезерных и токарных станков допускается не более 0,010…0,015 мм;
* погрешность прямолинейности и параллельности направляющих станин допускается более 0,02 мм на длине 1000 мм и 0,05…0,08 мм – на всей длине станины.

Так, например, геометрическая неточность оси вращения шпинделя токарного станка (биения переднего центра) приводит к появлению погрешности формы в поперечном и продольном сечениях на готовой детали (рисунок. 3.4).

Обеспечить на операции точность размеров и формы обрабатываемых поверхностей выше или равной точности применяемого технологического оборудования невозможно.

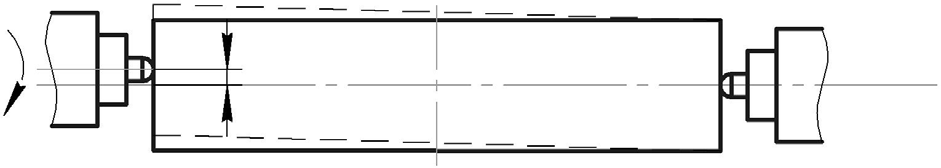


Рисунок. 3.4. Схема формирования наружной поверхности заготовки вала при наличии биения переднего центра

Погрешности обработки могут возникать вследствие неправильного монтажа технологического оборудования. Например, извёрнутость направляющих станины, полученная в результате ошибок при монтаже станка, приводит к смещению суппорта с резцом в горизонтальном направлении относительно оси центров станка (рисунок. 3.5). Что, в свою очередь, приводит к появлению погрешности формы заготовки в продольном сечении. Чем длиннее будет обрабатываемая заготовка, тем сильнее будет проявляться эта погрешность. Если извёрнутость имеет место по всей длине направляющих станины, то возникающую погрешность можно компенсировать настройкой режущего инструмента. При появлении местной извёрнутости направляющих станины токарного станка исправить возникающие погрешности обработки практически невозможно.

Обозначив величину извёрнутости станины через U, а вызванное ею смещение резца в горизонтальном направлении через L получим:

L = U Н/ В, (3.1)

где Н – высота центров, В – расстояние между осями направляющих станины.

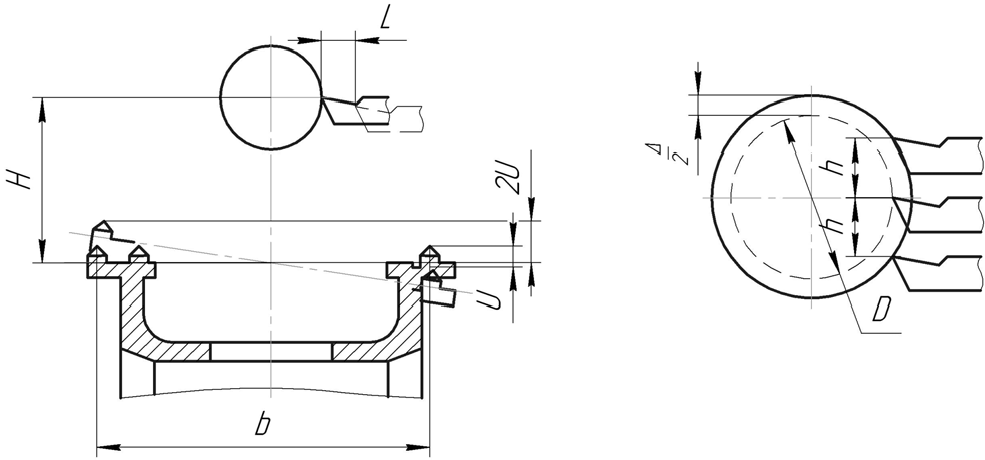


Рисунок. 3.5. Возможная погрешность обработки заготовки вала из-за нарушений, допущенных при монтаже оборудования

При смещении суппорта на величину h вместе с резцом вверх или вниз относительно оси центров станка диаметр обработанной заготовки D получает приращение размера на величину равную:

∆ = 2h2/ D. (3.2)

В процессе эксплуатации геометрическая точность станков понижается вследствие изнашивания отдельных узлов станка, нарушения их регулировки и ряда других причин. При этом появляются зазоры в сопряжениях, увеличивается биение шпинделей, посадочных мест, отклонение от прямолинейности направляющих и т.д. Вследствие этого станок теряет свою первоначальную точность. На рисунок. 3.6 показана схема износа направляющих станка и возможная погрешность формы заготовки детали обработанной на таком станке.

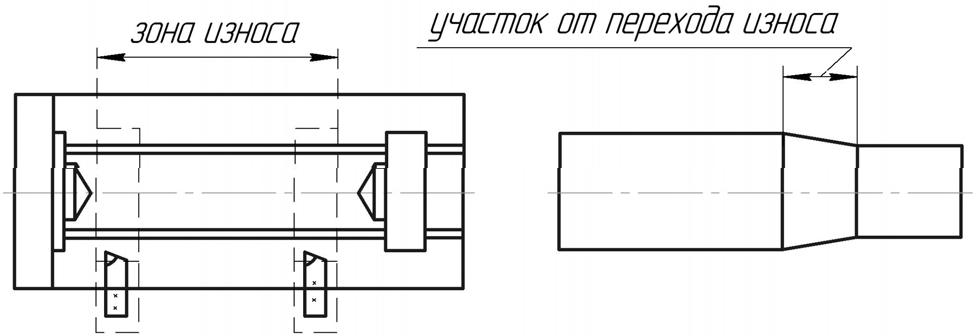


Рисунок. 3.6. Схема износа направляющих станка и возможная погрешность формы заготовки детали

Всё, сказанное выше, целиком относится и к станочным приспособлениям. Точность изготовления, сборки и монтажа приспособления на станке оказывают значительное влияние на возникновение погрешности обработки. Поэтому точность изготовления приспособления определяется точностью обрабатываемых в нём заготовок.

Например, если точность заготовок при обработке находится в пределах 6…8 квалитетов точности, то допуски на размеры приспособления должны назначаться в пределах 0,3–0,5 от допуска на соответствующие размеры заготовки. При получении заготовок с точностью 8 квалитет и выше, допуски на размеры приспособления устанавливаются в пределах от 0,2 до 0,1 от допуска на соответствующие размеры заготовки.

Помимо влияния погрешности изготовления приспособления, точность обработки заготовок может снижаться из-за износа отдельных деталей приспособления, таких как опорные установочные элементы, кулачки патронов, направляющие втулок и т.д. В производственных условиях металлорежущие станки, приспособления и их наладка периодически проверяются на технологическую точность. После планово-предупредительного и капитального ремонтов станки обязательно принимаются отделом технического контроля завода с проверкой точности согласно паспортным нормам.

* + 1. **Погрешность изготовления режущего инструмента и его размерный износ в процессе эксплуатации**

Погрешность изготовления режущего инструмента вызывает появление погрешности обработки в двух случаях.

1. При обработке поверхностей деталей мерными инструментами: свёрлами, зенкерами, развёртками, метчиками, плашками, протяжками, пальцевыми фрезами и др. В этом случае на появление погрешности обработки влияет погрешность изготовления рабочей части инструмента и погрешность изготовления посадочных элементов (хвостовиков) таких инструмента.

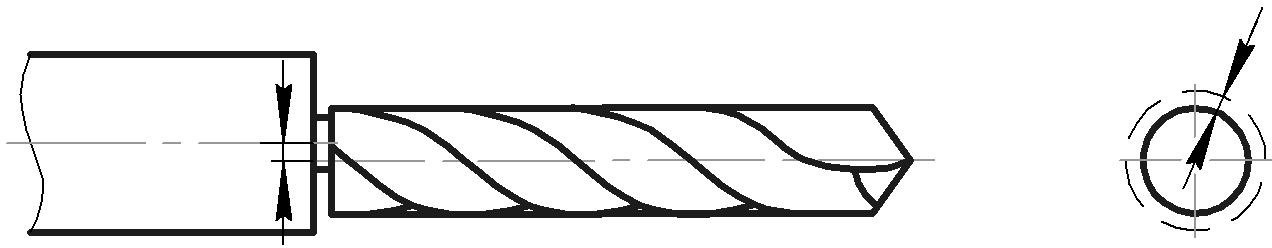
Для осевых инструментов типа свёрл, метчиков, развёрток и т. п. очень важным является сведение к минимуму осевого биения рабочей части инструмента относительно хвостовой части (рисунок. 3.7). Иногда биение рабочей части инструмента создаётся искусственно, чтобы исключить заедание инструмента: например при фрезеровании узких глубоких пазов.

Рисунок. 3.7. Биение осевого инструмента при обработке отверстия

1. При обработке поверхностей заготовок деталей фасонным инструментом: фасонными резцами, фрезами, шлифовальными кругами и др. В этом случае профиль инструмента непосредственно переносится на обрабатываемую поверхность.

Кроме погрешности изготовления, на появление погрешности обработки значительное влияние оказывает износ режущего инструмента, как мерного, так и обычного (немерного) инструмента: расточных, проходных и других резцов, различных фрез, стандартных шлифовальных кругов и т.п.

При обработке охватываемых поверхностей износ режущего инструмента приводит к увеличению получаемого размера, а при обработке охватывающих – к уменьшению этого размера.

Основной износ режущего инструмента происходит по передней и задней поверхности. Наибольшее влияние на размер обрабатываемой заготовки оказывает износ по задней поверхности *h* (рисунок. 3.8). При этом режущая кромка инструмента отходит от обрабатываемой поверхности в направлении выполняемого размера на величину U.

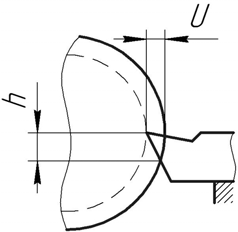


Рисунок. 3.8. Влияние износа резца на получаемый размер

При обработке длинных валов из труднообрабатываемых материалов размерный износ инструмента оказывает влияние на появление погрешности формы детали в виде конусности. При обработке коротких деталей размерный износ инструмента оказывает влияние на изменение размеров последовательно обрабатываемых деталей в партии.

Общая закономерность зависимости величины износа режущего инструмента от длины, пройденного им, пути в металле представлена на рисунок. 3.9 (при этом необходимо понимать, что длина пути резания инструмента прямо пропорциональна количеству обработанных деталей и времени работы инструмента).

На этапе *I*, в начальный период работы инструмента происходит наиболее интенсивный износ. В этот период происходит приработка режущего инструмента, при которой отдельные выступающие микронеровности выкрашиваются, и шероховатость поверхности сглаживается. Величина начального износа *Uн* и длина приработки *Lн* зависят от материалов детали и инструмента, качества заточки инструмента и режимных параметров обработки. Продолжительность начального износа определяется несколькими минутами, а длина резания не превышает 500…1500 м.

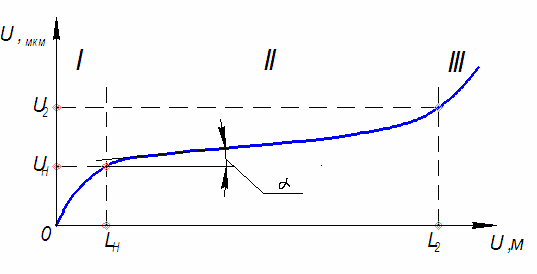
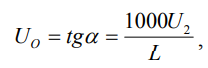


Рисунок. 3.9. Типовая зависимость износа режущего инструмента U

от длины пути резания L

На этапе *II* происходит нормальный износ режущего инструмента, прямо пропорциональный длине резания. Кривая, описывающая характер износа на этом участке, проходит под небольшим углом к оси абсцисс. Интенсивность этого периода износа выражается величиной относительного (удельного) износа Uо:

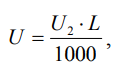
 (3.3)

где U – размерный износ на этапе *II* работы режущего инструмента, мкм; L – длина пути резания за тот же период работы, м

Длина пути резания на этом участке значительно больше, и при обработке, например, углеродистой стали резцами с материалом режущей кромки Т15К6 может достигать до 40000 м.

На этапе *III* происходит критический износ, который сопровождается местным выкрашиванием или даже поломкой режущего инструмента. Этот вид износа недопустим для нормальной эксплуатации инструмента.

Проектные расчёты величин износа режущего инструмента для определения его влияния на точность обработки проводятся применительно ко второму этапу:

(3.4)

где U – размерный износ режущего инструмента, мкм; L – длина пути резания, м.

Влияние размерного износа на точность обработки зависит от принятого метода достижения заданной точности. При работе по методу пробных

проходов размерный износ можно компенсировать путём настройки положения инструмента перед обработкой каждой последующей заготовки.

При работе на настроенных станках размерный износ можно компенсировать за счёт подналадки оборудования после периодического контроля.

Использование приборов активного контроля (ПАК) позволяет непрерывно осуществлять подналадку оборудования. При обработке заготовок в автоматическом режиме (например, на автоматических линиях) используются автоматические подналадчики, которые устраняют влияние размерного износа на точность обработки.

Режущий инструмент, который допускает корректировку настроечного размера (резцы, фрезы, шлифовальные круги, раздвижные развёртки и др.), позволяет компенсировать влияние размерного изнашивания на точность обработки одним из перечисленных выше методов. Для жёстких мерных и фасонных (профильных) инструментов такая компенсация невозможна.

Необходимо отметить, что размерный износ режущего инструмента сопровождается значительным увеличением радиальной составляющей силы резания, что также приводит к появлению дополнительных погрешностей обработки.

* + 1. **Упругие деформации технологической системы от действия сил резания и усилий закрепления**

При механической обработке, под влиянием действующих сил резания, звенья упругой технологической системы (станок, приспособление, инструмент, деталь) перемещаются. Эти упругие деформации технологической системы приводят к тому, что режущие кромки инструмента, образующие профиль обрабатываемой поверхности, отклоняются от исходного положения настройки.

Величина упругих деформаций зависит от жёсткости технологической системы и величины приложенных к ней сил резания.

Жёсткостью упругой технологической системы называется отношение силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению режущей кромки инструмента относительно этой же поверхности заготовки в том же направлении:

J = Py/ Y, (3.5)

где Py – сила резания, направленная по нормали, кгс;

Y – величина упругой деформации технологической системы в направлении приложенной нагрузки, мм

Необходимо отметить, что тангенциальная составляющая силы резания Pz, а в ряде случаев и осевая составляющая Px также могут оказывать влияние на жёсткость технологической системы (рисунок. 3.10).

Например, при обработке вала на токарном станке жёсткость суппорта станка при одновременном действии сил Py и Px оказывается более низкой, чем при действии только силы Py. При нагружении передней и задней бабок станка дополнительно силой Pz их жёсткость также уменьшается.

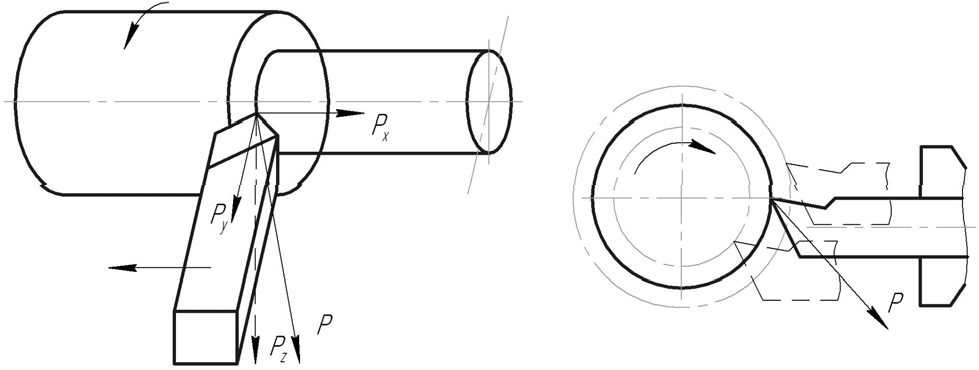


Рисунок. 3.10. Схема действия сил резания в зоне обработки и смещение инструмента под действием результирующей силы резания

Таким образом, выражение (3.5) для определения жёсткости технологической системы может использоваться только для приближённых расчётов.

Понятие жёсткости технологической системы распространяется и на отдельные звенья системы. Так, под жёсткостью станка понимается способность его узлов (суппортов, передней и задней бабок) противостоять действию сил, вызывающих упругие деформации, при этом заготовка и инструмент условно принимаются абсолютно жёсткими звеньями технологической системы.

Жёсткость технологической системы включает в себя как упругие свойства системы, так и условия её нагружения в процессе обработки. При изменении условий нагружения жёсткость системы тоже меняется.

Например, при обтачивании вала, жёсткость его при положении резца посередине заготовки будет отличаться от жёсткости вала при положении резца в конце вала. В соответствии с этим и жёсткость всей системы, отнесённая к вершине резца, будет также различной.

Аналитическое определение упругих перемещений технологической системы сильно затруднено ввиду того, что сама система является нелинейной и поэтому невозможно простым алгебраическим сложением найти результат действия всех трёх составляющих сил резания.

Наиболее точное представление о действительной жёсткости технологической системы и возможных величинах упругих деформаций дают экспериментальные методы их определения: статический и производственный (динамический).

Статический метод заключается в том, что звенья технологической системы постепенно нагружаются силами, соответствующими тем, которые должны бы действовать в процессе обработки детали. При этом оборудование не работает, а замеры упругой деформации технологической системы производятся в направлении приложенных искусственно сил (рисунок. 3.11). Однако, статическая жёсткость, определённая на неработающем оборудовании, не учитывает динамики процесса резания: толчков, вибраций, амплитудных колебаний, которые увеличивают деформацию системы.

Поэтому статическая жёсткость в 1,2…1,4 раза больше, чем динамическая жёсткость технологической системы.

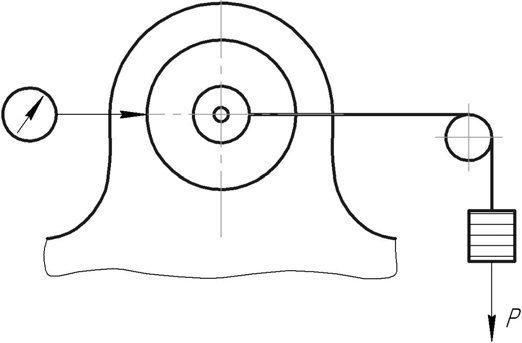


Рисунок. 3.11. Статический метод определения жёсткости технологической системы

Производственный (динамический) метод заключается в том, что в производственных условиях на исследуемом оборудовании производится обработка ступенчатой заготовки с одного прохода (рисунок. 3.12). При этом заготовка должна иметь высокую жёсткость (в 5…6 раз большую жёсткости станка и инструмента) для того, чтобы можно было условно пренебречь влиянием её деформации на точность обработки.

Обрабатываются два участка заготовки с разными припусками. Величина этих припусков выбирается исходя из ожидаемой величины колебания припусков при обработке всей партии деталей от Zmin до Zmax. При обработке участка с большей глубиной резания (Zmax) будут действовать большие силы резания, а следовательно, будут и большие упругие деформации технологической системы, чем на участке с малыми припусками (Zmin) и меньшими силами резания.

Поэтому на обработанной поверхности получается уступ из-за разных упругих деформаций системы на границе этих двух участках заготовки. Величина этого уступа соответствует возможной величине рассеивания размеров обрабатываемой партии для данных производственных условий.

Таким образом, с помощью производственного метода можно предсказать возможный разброс размеров обрабатываемой партии заготовок деталей, появляющийся из-за наличия колебаний жёсткости упругой технологической системы.

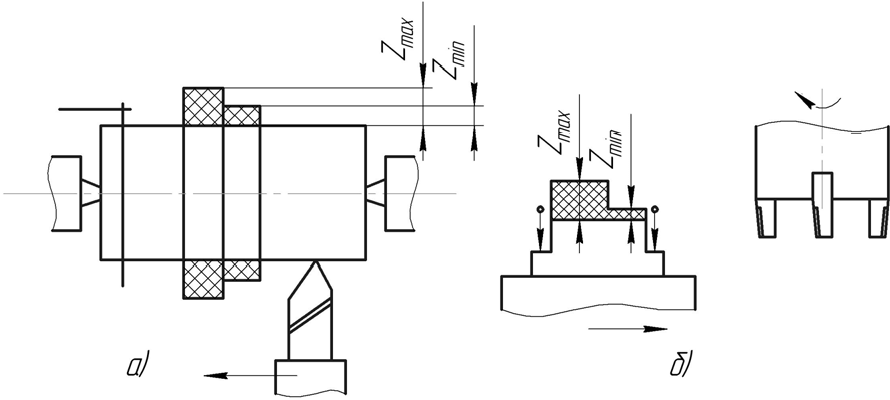


Рисунок. 3.12. Определение жёсткости технологической системы производственным

(динамическим) методом при обработке заготовок: а) на токарных станках;

б) на фрезерных станках

Упругие перемещения технологической системы, вследствие непостоянства её жёсткости по длине обработки, вызывают погрешности формы обрабатываемой поверхности, как в поперечном, так и в осевом сечениях.

Например, при обработке нежёсткого вала в центрах токарного станка погрешность формы в поперечном сечении будет зависеть:

* от жёсткости передней и задней бабок;
* от жёсткости самого вала вдоль длины действия составляющей силы резанияPy.

Схема формирования упругих деформаций технологической системы от действия сил резания и их влияние на форму обрабатываемой поверхности для этого вида обработки показана на рисунке. 3.13.

На схеме *I* показана упругая деформация технологической системы при разной жёсткости передней и задней бабок станка, и абсолютной жёсткости обрабатываемого вала.

На схеме *II* показана упругая деформация технологической системы при переменной жёсткости вала вдоль длины обработки, и абсолютной жёсткости передней и задней бабок станка.

На схеме *III* показана суммарная упругая деформация технологической системы с учётом жесткости, как обрабатываемого вала, так и узлов станка.

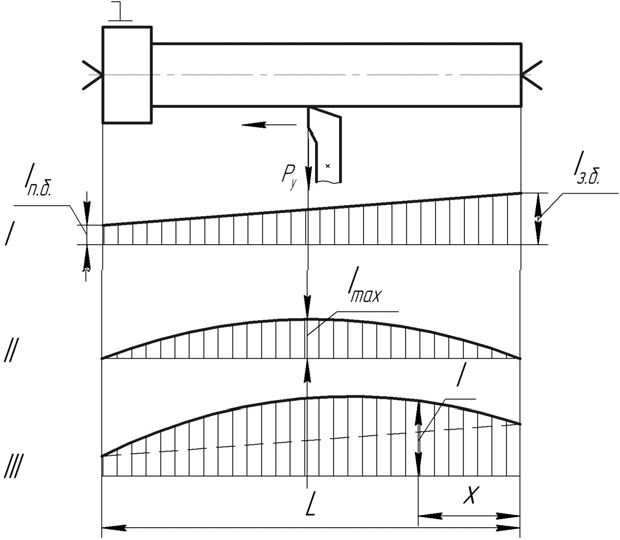
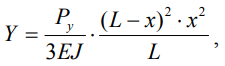


Рисунок. 3.13. Схемы формирования упругих деформаций технологической системы при обработке заготовки вала в центрах токарного станка

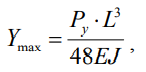
Величина упругой деформации заготовки вала в поперечном сечении может быть определена по следующей формуле:

 (3.6)

где Е – модуль упругости при растяжении (сжатии); J – момент инерции;

L – длина обрабатываемой заготовки

Максимальная упругая деформация в середине вала будет рассчитываться по следующей формуле:

(3.7)

При перемещении резца при обработке заготовки от задней бабки станка к передней радиальная составляющая силы резания Py вызывает упругие деформации технологической системы, которые изменяются по сложной кривой (рисунок. 3.13 схема *III*).

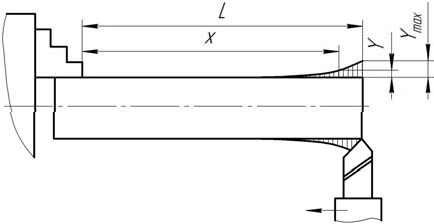
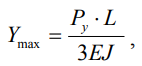


Рисунок. 3.14. Схема упругой деформации заготовки детали при обработке в патроне

При обработке заготовки вала, установленной в патроне токарного станка

(рисунок. 3.14), величина упругой деформации будет определяться по формуле:

(3.8)

где L – максимальный вылет заготовки вала;

X – текущая координата обработки по длине вала.

При обработке заготовок длинных нежёстких валов, установленных в патроне с поджатием задним центром, возможные эпюры упругих деформаций системы будут иметь форму, представленную на рисунок. 3.15, которая полностью перенесётся на форму обрабатываемой поверхности вала в продольном сечении.

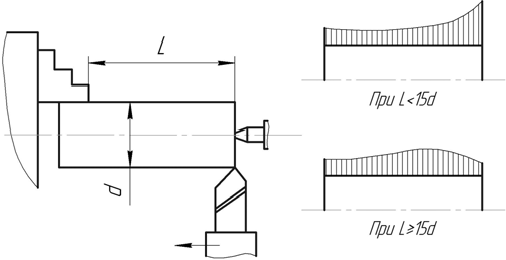


Рисунок. 3.15. Возможные эпюры упругих деформаций технологической системы при обработке заготовки вала, закреплённой в патроне и заднем центре

Причиной появления погрешностей размеров и формы обрабатываемых поверхностей может являться упругая деформация заготовки под действием сил закрепления. Это происходит в тех случаях, когда неверно рассчитана требуемая величина усилий закрепления или неправильно выбрана сама схема закрепления.

Примером может служить операция растачивания внутреннего отверстия тонкостенной втулки, закреплённой в трёхкулачковом патроне. Возможные упругие деформации заготовки при таком закреплении и возникающая при этом погрешность формы обрабатываемого отверстия показаны на рис. 3.16.

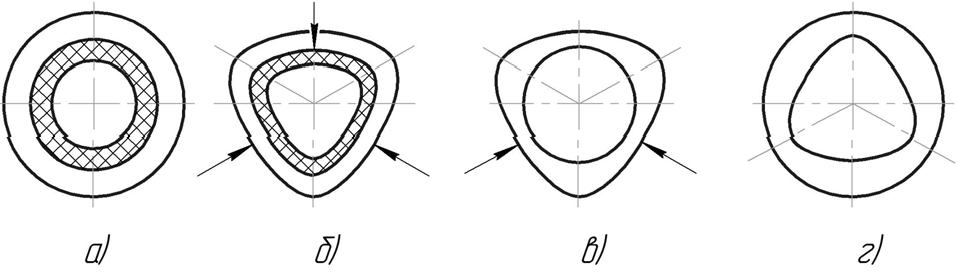


Рисунок. 3.16. Упругая деформация заготовки детали при закреплении в патроне и возможная погрешность формы обрабатываемого отверстия:

а) заготовка до закрепления в патроне с припуском на обработку; б) заготовка, закреплённая в патроне, с упругими деформациями;

в) заготовка после расточки отверстия, но ещё закреплённая в патроне; г) деталь с обработанным отверстием и со снятыми усилиями

закрепления

Колебания упругих деформаций от усилий закрепления могут являться причинами появления и погрешностей взаимного расположения поверхностей готовой детали (особенно актуально это при обработке корпусных деталей).

Также погрешности формы обрабатываемых поверхностей на детали при различных видах установки могут возникать из-за статической и динамической неуравновешенности технологической системы. Влияние неуравновешенности системы наиболее ярко проявляется при обработке сложных многоосных деталей на высоких скоростях резания. Например, при обработке коленчатого вала ДВС действующие центробежные силы приводят к перекосу оси заготовки, которая является технологической базой. Вследствие этого возможно появление погрешности формы детали, как в поперечном, так и продольном сечениях, выходящей за пределы допуска.

* + 1. **Температурные деформации станка, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки**

В процессе механической обработки происходит нагрев технологической системы в результате выделения тепла в зоне резания, в местах трения подвижных частей оборудования, работы электро и гидроприводов, а также от теплового влияния внешних источников. В результате нагрева появляются температурные деформации технологической системы.

При работе на станках общего пользования и обычной точности температурные деформации оказывают незначительное влияние на точность обработки.

Более существенное влияние на точность обработки температурные деформации оказывают при использовании точных и прецизионных станков на чистовых операциях в технологических процессах.

Рассмотрим тепловые деформации отдельных элементов технологической системы и их влияние на точность обработки.

При работе металлорежущих станков в начальный период их отдельные узлы нагреваются крайне неравномерно. Тепловой режим технологической системы стабилизируется только через 3…5 часов после пуска оборудования. В этот пери- од разогрева оборудования тепловые деформации наиболее существенно влияют на разброс размеров обрабатываемой партии заготовок.

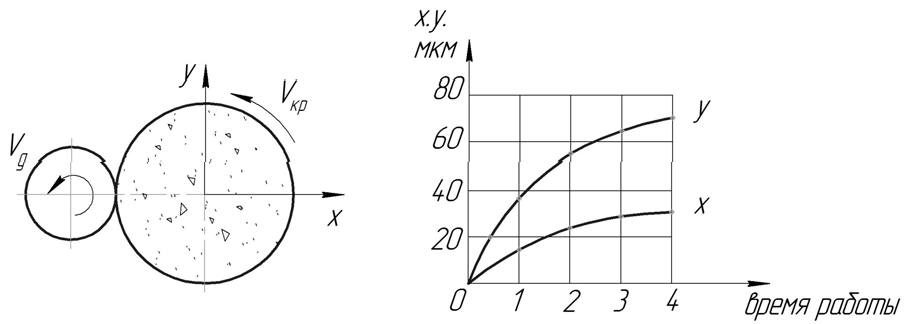


Рисунок. 3.17. Изменение температурных деформаций в начальный период работы шлифовального станка

На рисунке. 3.17 показано смещение оси шпинделя шлифовального круга в вертикальной и горизонтальной плоскости в результате начального неравномерного нагрева системы. При этом происходит смещение шлифовального круга относительно высоты центров обрабатываемой заготовки, в результате чего заготовки, обработанные в начале и конце смены, при прочих равных условиях, будут отличаться по своим размерам.

Температурные деформации технологической системы от нагрева отдельных элементов оборудования можно уменьшить за счёт следующих организационных мероприятий:

* выноса гидропривода за пределы станка, что одновременно способствует и снижению вибраций в технологической системе;
* установки специальных регуляторов температуры масла в гидроприводе, которые быстро доводят температуру масла до рабочего состояния и сокращают период начального прогрева оборудования;
* применения теплоизоляции гидроцилиндра и гидроприводов от станины станка;
* правильного выбора объёма резервуара для масла (при малом объёме бака масло недостаточно быстро остывает);
* выбора более совершенной смазки подшипников шпинделей, улучшающей отвод тепла от трущихся элементов станка.

Исходя из выше изложенного, при обработке заготовок на чистовых операциях с использованием прецизионного оборудования для обеспечения заданной точности необходимо выполнять следующие технологические приёмы:

* в начальный период работы оборудования постоянно проводить подналадку станка;
* на ответственных операциях станки предварительно прогревать и в дальнейшем не останавливать их, даже при многосменном режиме работы;
* прецизионные станки устанавливать в отдельных помещениях с постоянной температурой окружающей среды (термостатические участки), чтобы исключить внешнее температурное воздействие.

На точность обработки также влияют и температурные деформации режущего инструмента. Изменение рабочих размеров режущих инструментов происходит из-за высоких температур в зоне резания (например, температура рабочей поверхности резцов в зоне резания достигает 800…1000**º**С, при удалении от зоны резания температура державки резца резко снижается).

Например, удлинение проходных и расточных резцов при обработке из-за нагрева в зоне резания может достигать 0,05 мм, что приводит к изменению диаметра обрабатываемой поверхности на 0,1 мм.

Температурные деформации рабочего размера мерных инструментов (свёрл, метчиков, разверток и т.д.) полностью переносятся на размер обрабатываемой поверхности.

Зависимость удлинения резца от времени резания, при воздействии темпера- туры в зоне резания, приведена на рисунке. 3.18.

В начале процесса резания происходит быстрое повышение температуры резца, а, следовательно, и его удлинение. После чего наступает температурное равновесие, и удлинение резца прекращается (верхняя кривая на рисунок. 3.18). Поскольку масса резца, находящаяся непосредственно в зоне резания, мала, то нагрев и охлаждение могут протекать относительно быстро. Нижняя кривая на рисунке. 3.18 и характеризует собой прерывистый температурный режим работы инструмента.

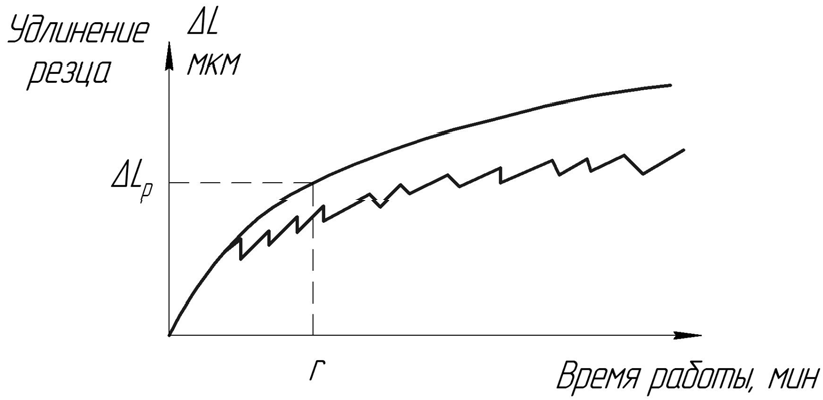


Рисунок. 3.18. Изменение температурной деформации резца во время обработки

Величина удлинения резца при установившемся тепловом состоянии системы может быть посчитана по эмпирической формуле, полученной по результатам экспериментальных исследований для резца с пластинкой из твёрдого сплава Т15К6:

 (3.9)

где С – постоянная величина (при t < 1,5 мм, S < 0,2 мм/об, С = 0,45, v = 100…200 м/мин);

Lp – вылет резца, мм;

F – площадь поперечного сечения резца, мм;

* – предел прочности обрабатываемого материала заготовки, кг/мм ; t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/об;

V – скорость резания, м/мин

Из выражения (3.9) видно, что уменьшение вылета резца или увеличение площади его поперечного сечения позволяют уменьшить температурные деформации резца.

Обработка заготовок с подачей в зону резания большого количества охлаждающей жидкости практически исключает погрешности от температурных деформаций режущего инструмента.

Иногда на точность обработки влияют температурные деформации самой заготовки. Наиболее заметно это влияние сказывается на окончательных операциях обработки тонкостенных деталей, таких как гильзы ДВС, переходные втулки и т.п.

Так, например, на операциях шлифования наружной поверхности заготовки тонкостенной втулки, из-за большой температуры в зоне резания, происходит расширение этой поверхности в направлении выполняемого размера (рисунке. 3.19).

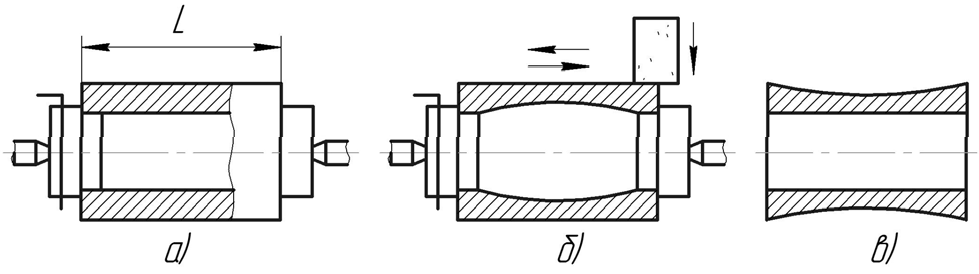


Рисунок. 3.19. Упругая деформация заготовки тонкостенной втулки на операции шлифования:

а) заготовка перед обработкой;

б) расширение заготовки из-за нагрева в процессе шлифования; в) полученная в результате обработки погрешность формы

Снимаемый при этом припуск будет распределяться неравномерно вдоль обрабатываемой поверхности, так как температурное расширение по центру заготовки больше, чем по краям заготовки, где происходит более интенсивный отвод тепла. После окончания обработки и охлаждения заготовки, поверхность втулки возвращается в первоначальное состояние и на ней появляется погрешность фор- мы в виде седлообразности наружной поверхности.

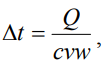
Линейное удлинение заготовки в процессе обработки из-за нагрева можно рассчитать по формуле:

∆L = αL∆t (3.10)

где – коэффициент линейного расширения материала заготовки; L – длина заготовки, мм;

t – разность температур заготовки до и во время обработки, град

Величина разности температур t при обработке резанием может быть определена расчётным путём по следующей формуле:

(3.11)

где Q – количество тепла, возникающего в процессе резания, кал.; c – плотность материала заготовки, кг/м ;

– удельная теплоёмкость, кал/кг град ; W – объём заготовки, м

Например, количество тепла выделяемого в единицу времени при обработке шлифованием (по Н.И. Резникову), может быть определено с применением эмпирической зависимости:

Q = 0,039 Pz V, (3.12)

где Pz – тангенциальная составляющая силы резания, кг; V – скорость резания, м/с.

Зная время обработки, можно определить величину упругой деформации заготовки, и возможную погрешность обработки.

Линейное удлинение заготовки, при этом, может быть определено по следую- щей формуле:

L= 0,039 L Pz V To/ C W, (3.13)

где To – время обработки детали, с.

Упругие деформации заготовок, возникающие из-за высокой температуры в зоне резания, могут быть сведены к минимуму за счёт следующих мероприятий:применения обильного охлаждения с помощью технологических жидкостей, подаваемых непосредственно в зону резания;

* выбора схем закрепления, позволяющих осуществлять компенсацию линейного расширения заготовок;
* придания заготовке искусственной встречной деформации при её установке и закреплении в направлении, противоположном ожидаемой температурной деформации.
  + 1. **Деформации изготовляемой детали от действия внутренних напряжений**

Внутренними (остаточными) напряжениями называются такие напряжения, которые имеются в материале заготовки или готовой детали при отсутствии каких-либо внешних нагрузок. Внутренние напряжения образуются в заготовках или на отдельных операциях механической обработки при наличии следующих факторов:

* неравномерности остывания отдельных частей отливок;
* сопротивления материала форм и стержней протеканию процесса литья или штамповки;
* неравномерности фазовых и структурных превращений металла в поверхностных слоях по глубине заготовки на заготовительных, термических и сварочных операциях;
* пластической деформации металла при наклёпе на операциях накатки роликами и шариками и т.д.

На величину и характер распределения внутренних напряжений большое влияние оказывает конфигурация деталей. Максимальные напряжения возникают в местах переходов одного сечения в другое, а также при неравномерном распределении по детали её массы.

Особенность внутренних напряжений заключается в том, что они взаимно уравновешиваются и внешне не проявляются до тех пор, пока их равновесие не будет по каким-либо причинам нарушено. Такими причинами могут быть тепловые воздействия, механическое удаление припуска с заготовки, удары, вибрация и т.д. При этом внутренние напряжения перераспределяются по детали, что вызывает у неё остаточные деформации. Чем интенсивнее происходит перераспределение внутренних напряжений, тем большее влияние они оказывают на точность обработки. Таким образом, для обеспечения требуемой точности обработки, при проектировании технологических процессов маршрут обработки детали должен быть составлен с таким расчётом, чтобы свести к минимуму влияние остаточных напряжений.

Для решения таких задач используются конструкторские и технологические мероприятия.

Конструкторские мероприятия проводятся на этапе проектирования машины и сводятся к разработке конструкций деталей, не позволяющих создавать на своих поверхностях концентраторы напряжений в виде резких переходов сечений и скоплений больших масс.

Технологические мероприятия предусматривают грамотную разработку технологического процесса получения заготовки (наличие литейных и штамповочных уклонов, управление скоростью остывания и т.д.). После черновых операций, заготовку необходимо освободить от зажимов приспособления, чтобы дать ей свободно деформироваться из-за перераспределения внутренних напряжений (рисунок. 3.20). Только после этого заготовку можно переводить для обработки на чистовые операции.

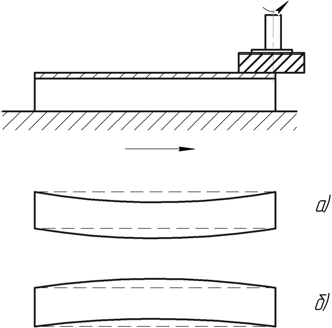


Рисунок. 3.20. Деформация заготовки из-за перераспределения внутренних напряжений после черновой обработки

Для снятия внутренних напряжений в заготовках может применяться естественное или искусственное старение.

При естественном старении заготовки складируются на открытом воздухе и выдерживаются от 15…20 дней до полугода. Выдерживание производится после предварительной обработки заготовок. Снятию внутренних напряжений при этом способствует колебание сезонных и дневных температур. Напряжения с течением времени снимаются неравномерно, вначале процесс идёт более интенсивно, затем постепенно замедляется. Естественное старение занимает много времени и требует наличия определённого материального запаса, и, следовательно, экономически неэффективно.

Более выгодно проводить искусственное старение при помощи термической обработки. При этом происходит нагрев, выдержка и охлаждение заготовок по схеме, изображённой на рисунок. 3.21.

Классический термический метод старения заготовок имеет существенные недостатки:

* для крупных заготовок требуются специальные термические печи больших размеров;
* процесс обладает большой энергоёмкостью;
* необходимо создание транспортной сети между термическим и механическим цехами.

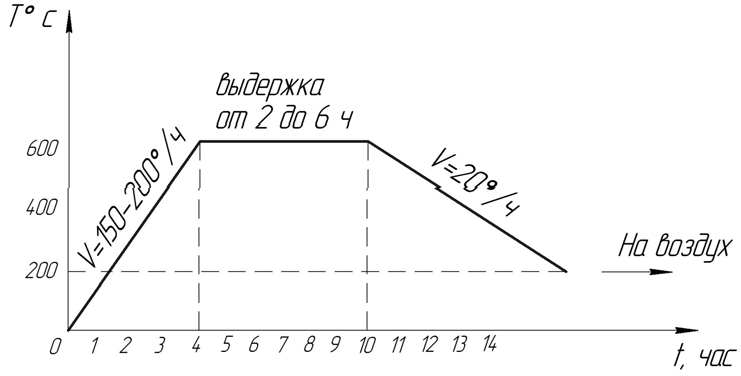


Рисунок. 3.21. Схема проведения процесса искусственного старения стальных заготовок

Поэтому часто применяются более экономичные методы искусственного старения с помощью механического воздействия.

Так мелкие и средние по размерам заготовки помещаются во вращающийся барабан, при этом постоянное соударение заготовок друг о друга способствует снятию внутренних напряжений.

Крупные заготовки в подвешенном состоянии обстукиваются пневматическим молотом, особенно такое воздействие эффективно для мест резких переходов сечений заготовки.

Существенно влияние на особенности учёта точности обработки оказывают внутренние напряжения и остаточные деформации в сложных сварных деталях. Часто после операций сварки, остаточные деформации нарушают выбранную схему базирования и усложняют установку заготовок на последующих операциях механической обработки, что приводит к появлению дополнительных погрешностей обработки.

Для уменьшения таких остаточных деформаций проводятся следующие технологические мероприятия:

* сварочные швы накладываются в одной и той же определённой последовательности;
* выдерживаются заданные режимы сварки;

–- обеспечивается термическая правка заготовки путём наложения специальных «фланцевых» накладных швов и т.д.

Сварка сложных заготовок, как правило, выполняется в специальных приспособлениях – кондукторах. Для снятия внутренних напряжений после операций сварки выполняется операция термической обработки – отжиг. Технология отжига заключается в нагреве заготовки до температуры 500…600**º**С (для конструкционных сталей) с последующим охлаждением вместе с печью

#### Погрешности настройки инструмента на размер

При обработке заготовок деталей на настроенных станках требуется предварительная установка (настройка) режущего инструмента относительно заготовки или приспособления в положение, при котором будет обеспечиваться размер обрабатываемой поверхности согласно требованиям чертежа.

Это положение режущего инструмента определяется настроечным размером. Настройка инструмента осуществляется в статическом состоянии технологической системы, при этом она должна учитывать влияние всех источников возникновения погрешностей обработки, рассмотренных ранее.

Настроечный размер не может быть выдержан абсолютно точно, он будет колебаться в определённых пределах, которые и определяют погрешность настройки инструмента на размер.

Погрешность настройки инструмента на размер напрямую зависит от метода настройки.

Различают следующие методы настройки инструмента на размер:

* По лимбу или шкале отсчётных устройств используемого оборудования;
* По эталону;
* По обработанной ранее заготовке;
* По пробной партии заготовок;

В зависимости от принятого метода настройки инструмента на размер могут быть получены различные по величине погрешности обработки, которые определяются соответственно погрешностями отсчётных устройств станка, эталона, или колебанием размеров партии заготовок, по которым проводилась настройка.

Необходимо отметить, что погрешность настройки инструмента на размер переносится на всю партию обрабатываемых заготовок.

Так, например, погрешность настройки по эталону можно рассчитать по следующей формуле:

Wэ=1,2\* (Wи.э.+Wу.э.), (3.14)

где Wи.э. – погрешность изготовления эталона (10…15 мкм);Wу.э–погрешностьустановкиэталона(15…20мкм)

Большие затраты времени на осуществление настройки и поднастройки инструмента во время обработки партии заготовок привели к необходимости разработки взаимозаменяемых наладок, которые исключают, как правило, какую-либорегулировку или подналадку технологической системы при смене затупившегосяинструмента.

Регулировочное звено (или узел) размещается в корпусе инструмента и обеспечиваетсоблюдениенастроечногоразмера,восстанавливаяегоприконтролеразмеровза счёт регулировочных средств.

Бесподналадочная настройка повышает точность обработки, снижает потери времен и на смену инструмента, упрощает техническое обслуживание станка.

По-другому осуществляется предварительная настройка инструментов резцового типа на токарных станках с ЧПУ. Резцы устанавливаются в резцедержателе «свободно» и с помощью специального прибора, выполненного на базе микроскопа, осуществляется размерная настройка режущей кромки резца, после этогорезец закрепляется в резцедержателе. Базовые поверхности для установки резцедержателя на станке и на приборе должны быть очень точными по форме и размерам.

#### Погрешности измерения

Измерительные инструменты и приборы изготавливаются с определённой степенью точности (классами точности приборов), которая в основном и определяетпогрешностьизмерений заготовокэтими инструментами.

Кроме того, в процессе эксплуатации инструменты и приборы изнашиваются,их рабочие размеры изменяются при колебаниях температуры окружающей среды, а также при нагревании от контролируемых поверхностей. Всё это также приводиткувеличению погрешности измерения.

В большинстве случаев точность измерений зависит также и от субъективности оценки человеком показаний приборов и инструментов. Естественно, что погрешности измерений, которые производит наладчик при наладке и подналадкетехнологического оборудования, также оказывают свое влияние на точность последующей обработки. Поэтому допуск контрольного инструмента (скоб, пробок) наладчика (контролёра) несколько меньше допуска контрольного инструмента рабочего.

#### 

* + 1. **Достижимая и экономическая точность обработки деталей на станках**

При обработке партии деталей в условиях серийного и массового производства достижение требуемой точности обработки связано с определёнными материальными и временными затратами. Чем выше заданная точность обработки, тембольше затраты и выше себестоимость технологического процесса изготовлениядеталей.

Величина получаемой точности обработки *Т* связанна со стоимостью изготовления партии деталей *С* определённой зависимостью, которая описывает применяемый метод механической обработки определённой поверхности и имеет гиперболический характер (рисунок.3.22).

Каждый из способов обработки одной и той же поверхности имеет свою экономически целесообразную границу точности или свою экономическую точностьобработки. Попытка получения более высокой точности, выходящей за рамки границы, характерной для данного способа обработки, приводит к неоправданно высоким затратам производства.

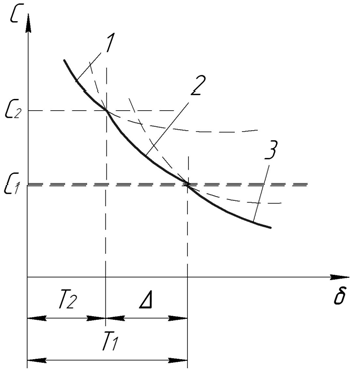


Рисунок. 3.22. Зависимость стоимости изготовления партии деталей от величины требуемой погрешности обработки для однородных поверхностей:1–для операций доводки,

2 – для операций шлифования, 3– длятокарных операций

Из графика на рисунке. 3.22 видно, что *Т1* – наименьшая допустимая точность, прикоторой экономически целесообразно применять обработку данной поверхноститочением, *Т2* – наименьшая допустимая точность при шлифовании этой же поверхности, *Т* – интервал, характеризующий зону экономически целесообразнойточностипри шлифованииданнойповерхности.

Понятие «экономическая точность обработки» – относительно. Его применение оправданно лишь при сравнении возможностей различных способов обработки однородных поверхностей. Если поверхность на детали можно обработать сопределённой степенью точности только лишь одним способом (например, калибровка внутреннего диаметра шлицевого отверстия втулки при заданном центрировании шлицевого соединения по наружному диаметру вала), то это понятиенеработает.

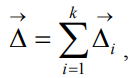
Таблицы экономической точности обработки, составленные на основе обобщённых производственных данных, приводятся в различных справочниках по вопросам технологии машиностроения и используются при проектных расчётах новыхтехнологическихпроцессов.

1. **Прогнозирование и расчёты погрешностей обработки**

#### Методы прогнозирования точности обработки

При проектировании технологических процессов, для обеспечения заданной точности обработки, необходимо учитывать комплексное влияние ранее рассмотренных отдельных факторов на действительную погрешность обработки.

Так, при обработке деталей на предварительно настроенных станках методом автоматического получения размеров, действительная погрешность может бытьопределена как векторная сумма составляющих погрешностей:

 (3.15)

где K–число составляющих погрешностей.

Предварительная оценка ожидаемой погрешности обработки позволяет правильно спроектировать технологический процесс изготовления детали на определённом технологическом оборудовании.

В настоящее время при проектировании технологических процессов применяются два метода прогнозирования ожидаемой точности обработки:

* расчетно-аналитический метод;
* статистический метод.

Расчётно-аналитический метод заключается в том, что рассчитывается степень влияния на ожидаемую точность обработки каждого из рассмотренных выше факторов в отдельности с последующим определением суммарной погрешности. Это делается путём построения математических моделей, описывающих механизм действия отдельных составляющих погрешности обработки. Этот метод очень трудоёмок и требует выполнения, как правило, сложных математических расчетов.

Статистический метод позволяет с помощью методов теории вероятности и математической статистики оценить влияние сразу всей совокупности факторов, действующих в данной операции, но не позволяет определить степень влияния отдельных факторов на образование суммарной погрешности обработки.

Данный метод широко используется для исследования операции на точность в производственных условиях.

Главными недостатками этого метода являются:

* отсутствие необходимой информации для управления точностью процесса обработки деталей;
* невозможность использования полученных результатов исследования одной партии для других партий деталей вдругих производственных условиях.

#### Систематические и случайные погрешности обработки

В общем виде суммарная погрешность обработки деталей на настроенных станках складывается из различных видов погрешностей, которые условно можно разделить на два основных вида:

* Систематические погрешности обработки;
* Случайные погрешности обработки.

Систематической (или закономерно-изменяющейся) называется такая погрешность, появление которой позволяет наблюдать закономерность (хотя бы приближенную) в изменении размеров в обрабатываемой партии заготовок.

Так, на рисунке. 3.23, а показана закономерность изменения размеров при обработке партии заготовок из-за воздействия на технологическую систему тепловых деформаций, а на рисунке.3.23, б показано изменение размеров в партии заготовок в связи с износом режущего инструмента.

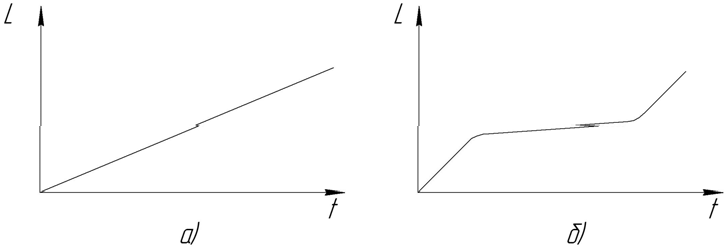


Рис. 3.23. Изменение размеров в обрабатываемой партии заготовок из-за влияния систематических погрешностей обработки:

а) влияние тепловых деформаций технологической системы; б)влияние износа режущего инструмента

Случайной называется такая погрешность, при появлении которой закономерность в изменении размеров в обрабатываемой партии заготовок установить невозможно.

В этом случае нельзя заранее определить ни величину, ни знак ожидаемой погрешности у той или иной заготовки, или даже предвидеть сам факт появления такой погрешности. Такая погрешность получается в результате действия одного или нескольких случайных факторов.

Примерами причин, вызывающих появление случайных погрешностей может быть изменение твёрдости поверхности заготовок в партии, колебание величины припуска в партии заготовок, погрешности измерения в результате субъективной оценки человеком показаний прибора и.т.д.

Если представить в координатах *t* (время обработки) – *L* (получаемый размер заготовки) влияние случайной погрешности на размеры заготовок в обрабатываемой партии, то получается график, представленный на рисунке.3.24.

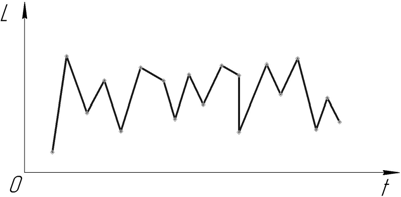


Рисунок.3.24.Рассеивание размеров в обрабатываемой партии, вызванное влиянием случайных погрешностей обработки

Из этого графика видно, что направление изменение размера каждой последующей обрабатываемой детали предсказать невозможно.

Действующие во время обработки партии заготовок погрешности, из-за своей разнонаправленности по влиянию на получаемый размер, могут, как компенсировать друг друга, так и совместно увеличивать своё влияние.

Существуют определённые правила суммирования этих погрешностей:

1. Систематические погрешности складываются между собой алгебраически, т.е. с учетом знака или направления.
2. Систематическая погрешность со случайной погрешностью складывается арифметически. Такой расчёт применяется из-за того, что знак случайной погрешности нельзя заранее предвидеть и поэтому принимается наихудший вариант.
3. Случайные погрешности между собой суммируются квадратически, с учётом законов распределения каждой группы случайных погрешностей:

(3.16)

где k – коэффициенты, описывающие законы распределенияслучайныхпогрешностей каждойгруппы;

 - рассеивание размеров, вызываемое влиянием случайных погрешностей обработки

Если по конструкторскому чертежу требуется высокая точность обработки детали, то необходимо стремиться применять более точное и новое технологическое оборудование и оснастку. В этом случае в суммарной погрешности обработки деталей преобладают систематические погрешности.

Если по заданию не требуется высокая точность обработки деталей, и при этом применяется изношенное технологическое оборудование и приспособления, то имеет место большой и случайный разброс размеров обрабатываемых деталей. В этом случае в суммарной погрешности обработки преобладают случайные погрешности.

#### Статистические методы исследования точности обработки

Случайные погрешности, действующие в процессе обработки деталей, относятся к категории случайных величин. А случайные величины и законы их распределения изучаются в теории вероятности и математической статистике, основные положения которых и используются для исследования и прогнозирования точности обработки.

Для исследования точности обработки партии деталей, получаемой на различных операциях проектируемого технологического процесса, применяются следующие два метода:

* Метод кривых распределения;
* Метод точечных диаграмм.

#### Метод кривых распределения

Любой показатель качества обработанной детали характеризуется полем рассеивания своих значений, получаемых в результате механической обработки партии деталей:

*Aнб**Aнм*, (3.17)

где А нб – наибольшая величина показателя качества детали в партии;

Анм–наименьшая величина показателя качества детали в партии.

Если в пределах поля рассеяния какое-либо значение принять за показатель, соответствующий геометрически правильному прототипу, то остальные значения поля рассеяния будут отражать ту погрешность, которая отличает каждый экземпляр изделия в партии и погрешность всей партий в целом.

Для исследования характера распределения погрешности в пределах партии деталей строится практическая кривая. По оси абсцисс располагается поле рассеяния ω, которое разбивается на определённое количество равных отрезков, называемых интервалами. Определяется количество деталей, попавших в каждыйинтервал mi. Это количество называется частотой попадания. Частота попадания откладывается в направлении оси ординат против середины соответствующего интервала, при соединении верхних точек отрезков между собой и с границами поля рассеяния, получается кривая распределения погрешности исследуемого параметра качества.

С помощью кривых распределения можно изучать и прогнозировать качественные характеристики при производстве различных изделий, в том числе при изготовлении деталей на металлорежущих станках.

Ниже приводится пример использования кривых распределения для прогнозирования количества годных и бракованных деталей, обработанных на настроенном станке, при этом параллельно излагается теория вопроса и ее практическое применение.

Действительные размеры деталей, обработанных на станке в условиях, когдадействие факторов, вызывающих появление систематических погрешностей, проявляется слабо, являются случайными величинами непрерывного типа, так какразмер каждой детали может иметь любое численное значение в поле рассеяния,характеризующего точность даннойоперации.

Случайные погрешности обычно вызывают рассеяние размеров деталей, подчиняющееся закону нормального распределения. В теории вероятностей установлено, что если изучаемая величина является суммой большого числа независимыхслучайных слагаемых, то хотя бы последние были известны, можно заранее считать, что изучаемая величина имеет нормальное распределение. Этим объясняется и тот факт, что в процессе обработки деталей действительные размеры их часто подчиняются закону нормального распределения, так как результирующая погрешность обработки представляет собой сумму большого числа погрешностей, зависящих от станка, приспособлений, инструмента, заготовки и условий обработки.

#### Метод точечных диаграмм

Метод кривых распределения обладает тем недостатком, что не учитывает последовательность обработки деталей, т.е. не даёт представления о распределении погрешностей обработки во времени.

Метод точечных диаграмм позволяет отделить случайные погрешности от систематических погрешностей, даёт наглядное представление о резких отклонениях в ходе процесса и времени их появления. Точечная диаграмма (рисунок. 3.25)строится по ходу обработки всей партии в координатах: номер заготовки (*№*),размерзаготовки (*L*).

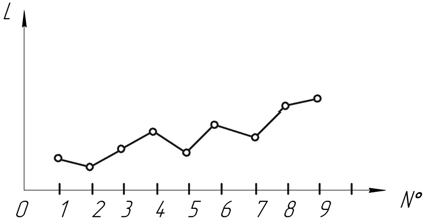
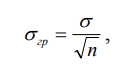


Рисунок.3.25.Точечная диаграмма изменения размеров заготовок

Если при обработке партии деталей на точность выполнения размеров влияют только случайные факторы, то точечные диаграммы не дают дополнительной информации о точности операции по сравнению с кривыми распределения. Если же при обработке будет действовать какая-либо доминирующая закономерно изменяющаяся погрешность (например, вызываемая износом режущего инструмента),то её влияние можно будет определить из точечной диаграммы (рисунок.3.25).

При значительных колебаниях размера от заготовки к заготовки направление полосы рассеяния на малом участке выявить трудно. В этом случае на точечной диаграмме откладываются размеры не каждой заготовки, а средний размер группы из нескольких заготовок. И тогда тенденция изменения размеров во времени выявляется более отчетливо, так как рассеяние средних групповых размеров меньше, чем рассеяние отдельных размеров.

Так, если рассеивание размеров подчиняется нормальному закону распределения со средним квадратичным отклонением σ, то рассеивание средних групповых размеров также будет подчиняться нормальному закону:

(3.18)

где n-число заготовок в группе.,

Построение точечных диаграмм широко практикуется при статистическом контроле хода операций. При таком контроле проверяются не все заготовки, а лишь определенная часть (обычно не более 25%).

Из общего потока заготовок последовательно выделяются определённые группы – пробы и по результатам их измерения строится точечная диаграмма (рисунок.3.26).

Выход среднего группового размера X за контрольные границы (*Вк* и *Нк*) служит сигналом для наступления периода подналадки станка.

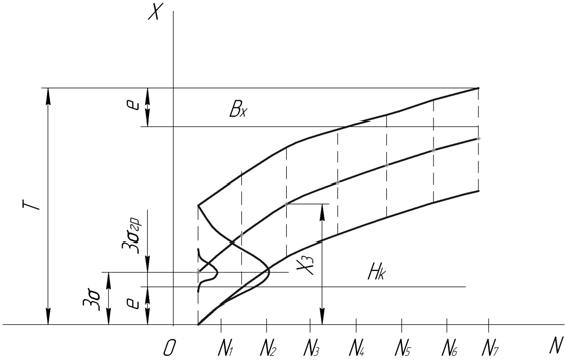


Рис.3.26.Точечная диаграмма, построенная по средним размерам групп

Положение верхней *Вк* и нижней *Нк* контрольных линий по отношению к границамполядопуска(Т) определяетсяследующейвеличиной:

#### (3,19)

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бурцев,В.М.Технологиямашиностроения.Т.2.Производствомашин:учебник для вузов / В.М. Бурцев. А.С. Соломенцев, О.М. Деев. М.: ИздательствоМВТУим.Н.Э.Баумана,2001.–640 с.
2. Клепиков, В.В. Технология машиностроения: учебник/ В.В. Клепиков, А.Н.Бодров. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2004. – 860 с.: ил. – (Серия «Профессиональ-ноеобразование»).
3. Крылов, О.В. Технология двигателестроения: учебное пособие / О.В. Кры-лов.–Екатеринбург:УГТУ, 2000.Ч. 2 – 147с.
4. Шамин, В.Ю. Теория и практика размерно-точностного проектирования: монография / В.Ю.Шамин–Челябинск:Изд-воЮурГу,2007.–520с.
5. Ямников, А.С. Основы технологии машиностроения: учебник для ву-зов/А.С.Ямников, Ю.Н.Фёдоров, Г.М.Шейнинидр.–Тула: Изд-воТулГу, 2006.

–269 с.