

**М.К. Юлдашев, Л.М. Останин**

М.К. Юлдашев, Л.М. Останин

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Специальность 240706 «Автоматизированное производство химических предприятий»

Специальность 240706 «Автоматизированное производство химических предприятий»

**Курс лекций**

Курс лекций

**2 0 1 2**

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВПО «КНИТУ»)

Казань  
«КНИТУ»  
2012

УДК 330.526  
ББК 34.5  
Ю-31

**Юлдашев М.К.**

Технологические процессы в машиностроении : курс лекций / Юлдашев М.К., Л. М. Останин. Казан. нац. иссл. технол. ун-т. - Казань: «КНИТУ», 2012. - 100 с.

ISBN 978-5-7882-0920-3

Предназначен для студентов специальности 240706.65 - «Автоматизированное производство химических предприятий», изучающих дисциплину «Технология машиностроительной отрасли», а также для аспирантов и научных сотрудников кафедры «Оборудование химических заводов» и Казанского межвузовского инженерного центра «Новые технологии» ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Подготовлен на кафедре «Оборудование химических заводов» «КНИТУ».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета.

Рецензенты: *д.т.н., профессор,*  
*зав. кафедрой МВ «КНИТУ» Лашков В.А.*  
*к.т.н, доцент Щелков А.Н.*

ISBN 978-5-7882-0920-3 М.К.©Олдашев, Л.М. Останин. 2012  
Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2012

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Появлению учебной дисциплины «Технологические процессы в машиностроении» предшествовал непрерывный прогресс машиностроения на протяжении двух – трех последних столетий. Технологический прогресс определял интенсивность изучения производственных процессов, а, следовательно, и научное их обобщение с установлением закономерностей в технологии механической обработки и сборки.

Зарождение машиностроения в России относят к началу 18 века, когда в 1711 г. в Россию из далекой Флоренции привезли станок, сделанный мастером Зингером. Царь Петр I пригласил автора к себе на службу.

В придворной токарне стали создавать первые отечественные металлорежущие станки, появляться отечественные мастера. Так талантливый мастер-самоучка А.К. Нартов разработал конструкции и построил граверный, копировальный, гильотинный станки. В 1788 г. он создал первый в мире токарно-винторезный станок с механическим суппортом и сменными зубчатыми колесами.

В то время стала появляться потребность в массовом производстве, особенно в военной промышленности. Это положило начало введению принципа взаимозаменяемости в технологию производства.

Начало изучения технологических процессов, то есть способов заготовок, в результате которых получается готовое изделие, соответствующее по размерам, форме и качеству поверхности требованиям, предъявляемым к его работе, относится к первым годам XIX-го столетия. В 1804 г. академик В.М. Севергин сформулировал основные положения о технологии, в 1817 г. профессор Московского университета И.А. Двигубский издал книгу «Начальные основания технологии, как краткое описание работ на заводах и фабриках».

Несмотря на отдельные выдающиеся изобретения, в целом технология машиностроения и станкостроения в России развивалась с большим отставанием от других капиталистических государств.

Некоторый прорыв стал намечаться в 30-е годы XX столетия благодаря тому, что техническая политика была поднята на уровень государственной политики. Стали развиваться такие отрасли промышленности как станкостроение, авто- и тракторостроение, самолетостроение.

Отечественная станко-инструментальная промышленность создала станки различного технологического назначения и усовершенствованной конструкции режущего инструмента, обеспечивающие большую производительность, высокую точность обработки. Все это позволило разработать основные закономерности технологических процессов механической обработки.

В последние годы XX столетия многие научно-исследовательские и проектные институты работали над созданием автоматического оборудования с системами числового программного управления (ЧПУ) на микропроцессорах, разработкой нового металлообрабатывающего инструмента с применением природных и синтетических алмазов, металлокерамики, производством стойких абразивных материалов, проектированием гибких производственных систем (ГПС) с автоматизированным управлением и роботизированные комплексы.

Моральное старение продукции машиностроения зачастую

наступает значительно быстрее их физического старения, при этом сроки устойчивого массового или серийного производства изделий сократилось к настоящему времени с 10...15 лет до 3...5 и менее лет, а для постановки на производство новых изделий на каждую тысячу деталей требуется разработать свыше 15 тысяч единиц различной технической документации и изготовить до 5 тысяч различных видов технологического оснащения. Все это требует дальнейшего повышения научно-технического уровня и качества изделий, всестороннего совершенствования технологии, методов организации и управления процессами производства.

Широкому применению прогрессивных типовых технологических процессов, оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации содействует Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), обеспечивающая для всех предприятий и организаций системный подход к оптимизации выбора методов и средств технологической подготовки производства (ТПП).

Использование ЕСТПП создает условия для максимального сокращения сроков этой подготовки, быстрее освоения новой техники, всестороннего совершенствования технологии и организации производства. Основными принципами ЕСТПП являются:

- запуск в производство изделий, отработанных на технологичность;
- широкое применение типовых технологических процессов;
- стандартизация и унификация оборудования, технологической оснастки и инструмента;
- автоматизация и механизация инженерно-технических и управленческих работ.

Важное место в решении этих задач занимает дисциплина «Технологические процессы в машиностроении»

# Тема 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

## ЛЕКЦИЯ 1

### 1.1 Производственный и технологический процессы

**Технология машиностроения** – наука, изучающая и устанавливающая закономерности протекания процессов обработки и параметры, воздействие на которые наиболее эффективно сказывается на интенсификации процессов и повышении их точности.

Предметом исследования и разработки в технологии машиностроения (ТМ) являются виды обработки, выбор заготовок, качество поверхностей, точность обработки и припуски на нее, базирование заготовок, способы механической обработки поверхностей – плоских, цилиндрических, сложнопрофильных и др.; методы изготовления типовых деталей – корпусов, валов, зубчатых колес и др.; процессы сборки (характер соединения деталей и узлов, принципы механизации и автоматизации сборочных работ); конструирование приспособлений. Таким образом, предметом изучения в технологии машиностроения является изготовление изделий заданного качества в установленном программой выпуска количестве при наименьших затратах материалов, минимальной себестоимости и высокой производительности труда.

Понятие «**процесс**» (от лат. processus - продвижение) подразумевает совокупность последовательных действий и явлений для достижения конечного результата. Это определение включает не только физические, механические и иные действия и явления, но и возможность управления ими. Иными словами, чтобы получить какой-либо результат, необходимо знать не только сам процесс, но и последовательность воздействия на него.

Применительно к изучаемой области деятельности используются процессами, имеющими исключительно закономерный, а не вероятностный и тем более случайный характер, которые можно прогнозировать, рассчитывать результат, управлять ими.

Процесс изготовления аппаратов, машин или механизмов состоит из комплекса работ, необходимых для производства заготовок, их обработки, сборки из готовых деталей составных частей (сборочных единиц) и, наконец, сборки из сборочных единиц и отдельных деталей готовых машин.

**Производственный процесс** (безотносительно вида объекта производства по ГОСТ 14.004-83) определяется как совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления продукции. В него входят все этапы переработки продуктов природы в предметы (машины, аппараты, оборудование, материалы, строения и т.п.), необходимые обществу или отдельному человеку.

В машиностроении производственным процессом называют совокупность отдельных процессов, осуществляемых для получения из материалов и полуфабрикатов готовых изделий. В основу положен технологический процесс изготовления изделий. Для его обеспечения необходимы еще вспомогательные и обслуживающие процессы.

В производственный процесс входят не только процессы, связанные с изменением формы и свойств материала изготавливаемых деталей и сборки из них машин и механизмов, но все вспомогательные процессы – транспортирование, изготовление и заточка инструмента, ремонт оборудования, технический контроль и т.д.

Производственный процесс на предприятии включает:

- получение и входной контроль материалов, заготовок, комплектующих и их складирование;
- подготовку и обслуживание средств производства заготовок (отладку, регулирование, настройку станков и другого технологического оборудования);
- внутризаводское транспортирование заготовок к рабочим местам;
- различные виды обработки (механическую, электро- физико-химическую, термическую и т.д.);

- вспомогательные процессы (контроль качества деталей, заточку и изготовление инструмента и оснастки);
- сборку изделий, их испытание и регулировку;
- отделку, окраску и упаковку;
- хранение и отправку готовой продукции.

Наилучший результат дает тот производственный процесс, в котором все этапы строго организационно согласованы и экономически обоснованы.

**Технологическим процессом** по ГОСТ 3.1109-82 называют часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

Прилагательное «**технологический**» образовано от существительного «технология» (от греч. *techni* - мастерство, умение и *logos* - учение, наука), которое применительно к сфере материального производства означает область деятельности, науку, дисциплину, систематизирующую совокупность приемов и способов обработки сырья, материалов, полуфабрикатов соответствующими орудиями производства в целях получения готовой продукции.

Установлены следующие разновидности технологического процесса: формообразование, литье, формование, спекание, гальванопластика, обработка давлением, термическая обработка, электрофизическая, электрохимическая и слесарная обработка, нанесение покрытий, сборка, сварка.

Технологические процессы выполняют на рабочих местах с помощью определенного оборудования, оснастки и инструмента, в результате чего изменяются физико-химические свойства материалов, геометрическая форма, размеры и относительное положение элементов деталей, качество поверхности, внешний вид объекта производства и т.д.

В целях обеспечения наиболее рационального процесса изготовления детали составляют план обработки с указанием: что, в каком порядке, каким способом и на какой поверхности детали

надо обрабатывать. В связи с этим весь процесс обработки расчленяется на отдельные составные части - операции, которые бывают технологическими и вспомогательными.

Структура технологических процессов показана на рис. 1.1.

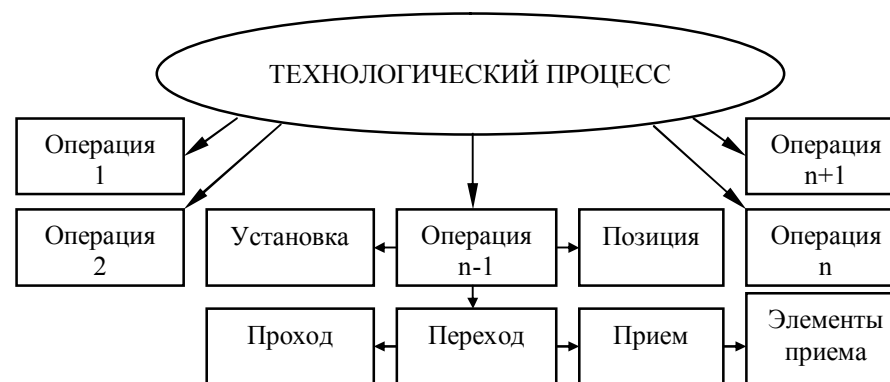


Рис. 1.1. Схема составных частей технологического процесса

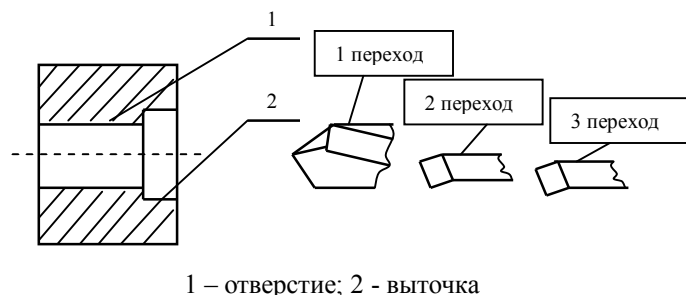
Под **операцией** понимают законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. В операцию входят как действия, непосредственно связанные с обработкой, так и необходимые вспомогательные действия.

Операция является основным элементом производственного планирования и учета. Она охватывает все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими совместно обрабатываемыми (собираемыми) объектами производства (заготовками). Заготовка может быть передвинута или переставлена, но до обработки следующей все действия, связанные с ее обработкой, относятся к одной операции.

На операцию обычно разрабатывают и выписывают всю учетную, технологическую и плановую документацию; устанавливают норму времени.

На рис.1.2 приведена схема обработки центрального отверстия 1 и выточки 2 в заготовке, выполняемые последовательно несколькими инструментами на одном рабочем месте (станке),

то есть в одну операцию. Если это отверстие обрабатывать раздельно, то есть сверлить на одном станке, а растачивать на другом, то обработка будет состоять из двух операций.



1 – отверстие; 2 - выточка  
Рис. 1.2 – Схема обработки отверстия

Основными технологическими элементами, из которых формируется операция, являются переходы.

**Технологический переход** - законченная часть операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных режимах и установке, т.е. **переходом** называется законченная часть операции, характеризующая постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой. Показанная на рисунке 1.2 схема обработки отверстия осуществляется в три перехода: первый – сверление отверстия 1, второй – растачивание отверстия 1 и третий – растачивание выточки 2.

**Вспомогательным переходом** называется законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода, например установка заготовки, смена инструмента и т.д.

Переходы могут быть совмещены во времени за счет одновременной обработки нескольких поверхностей детали несколькими режущими инструментами. Их можно выполнять последо-

вательно, параллельно, например одновременная обработка нескольких поверхностей на токарном станке (рис. 1.3).

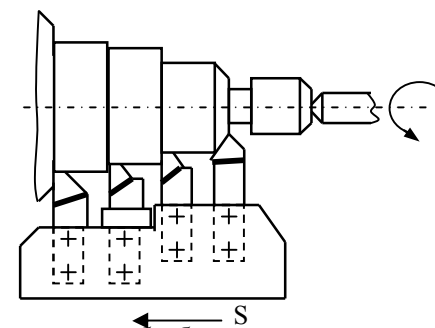


Рис. 1.3 - Одновременная обработка нескольких цилиндрических поверхностей за один переход

**Рабочим ходом** называется законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемая изменением ее формы, размеров, качества поверхности или свойств.

На станках, обрабатывающих тела вращения, под рабочим ходом понимают непрерывную работу инструмента. Например, на токарном станке - снятие резцом одного слоя стружки непрерывно, на строгальном станке - снятие одного слоя металла по всей поверхности заготовки.

Если слой материала не снимается, а подвергается пластической деформации (например, при обкатке поверхности гладким роликом с целью ее уплотнения), также применяют понятие рабочего хода, как и при снятии стружки.

**Вспомогательным ходом** называется законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемая изменением формы, размеров и шероховатости и т.д., но необходимая для выполнения рабочего хода.

**Установ** – часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок. Например, закрепив заготовку обработать две, три поверхности с помощью одного инст-

румента, применяя поворотное приспособление. А можно без поворотного устройства – сначала обработать одну поверхность, потом сняв деталь и повернув ее обработать вторую поверхность. Таким образом, операцию будут выполнять в два устано- ва (рис.1.4).

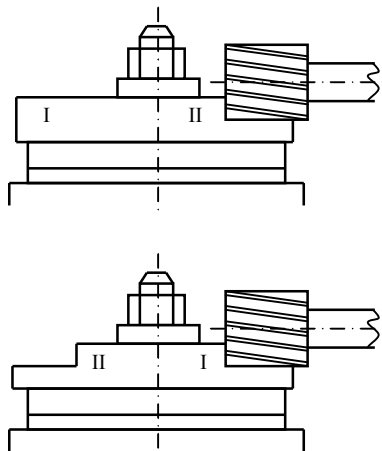


Рис. 1.4 – Обработка уступов заготовки

**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.

Например, при обработке на многошпиндельных полуавтоматах и автоматах деталь при одном закреплении занимает различные положения (позиции) относительно станка путем вращения стола (или барабана), последовательно подводящего ее к разным инструментам.

После установки заготовки в приспособление станка или оборудования ее необходимо закрепить.

**Закрепление** - приложение сил к предмету труда для обеспечения постоянства его положения, достигнутого при базировании.

Если применить поворотное приспособление, позволяющее изменять и фиксировать положение заготовки без ее снятия, поворачивания и повторного закрепления, то в этом случае обработка уступов с двух сторон будет осуществляться позиционно, то есть в данном случае на двух позициях.

Следует различать понятия «установ» и «установка».

**Установка** - это физический процесс установки заготовки (или детали) в приспособление станка или на конвейере с требуемой точностью.

**Проходом** называется однократное относительное движение режущего инструмента и обрабатываемой детали, в результате которого с поверхности заготовки снимается один слой материала.

Все действия рабочего, совершаемые им при выполнении технологической операции, расчленяются на отдельные приемы.

**Прием** - это совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части, объединенных одним целевым назначением.

Обычно приемами являются вспомогательные действия, например постановка или снятие детали, пуск станка. Элементом приема принято называть его элементарную часть, характеризующую законченную часть элементарного действия работающего (взятие детали, подведение к приспособлению, помещение в приспособление, закрепление).

**Наладка** - подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции. К ней относятся установка приспособления, переключение скорости и подачи, настройка заданной температуры и т.д.

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

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

## 1.2 Технологическая документация

Комплекс графических и текстовых документов, определяющих технологию изготовления изделия, которые содержат данные для организации производственного процесса, называется технологической документацией. В машиностроении государственными стандартами установлена Единая система технологической документации (ЕСТД), являющаяся составной частью ЕСТП.

ЕСТД определяет взаимосвязанные правила и положения о порядке разработки, оформления, комплектации и обращения технологической документации, разрабатываемой всеми машиностроительными и приборостроительными предприятиями.

**Основное назначение** стандартов ЕСТД – установление на всех предприятиях единых правил оформления и ведения технологической документации, что обеспечивает стандартизацию обозначений и унификацию документации на различные виды работ, предусматривает возможность обмена между предприятиями технологическими документами без их переоформления.

Основные технологические документы определены ГОСТ 3.1102-81 и подразделяются на документы общего и специального назначения.

Документами общего назначения являются карта эскизов (КЭ) и технологическая инструкция (ТИ). КЭ – это графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, предназначенные для пояснения технологического процесса, операции или перехода изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения заготовки. ТИ – предназначена для описания технологических процессов, методов и приемов, повторяющихся при изготовлении изделий, правил эксплуатации, средств технического оснащения и используется в целях сокращения объема разрабатываемой технологической документации.

Документы специального назначения посвящены описанию технологических процессов и операций в зависимости от типа и

вида производства и заранее предусмотренных технологических методов изготовления или ремонта изделий. К числу таких документов относятся: маршрутная карта (МК); карта типового технологического процесса (КТТП); операционная карта (ОП).

Главным (основным) документом является МК, остальные могут ее заменить в зависимости от конкретных обстоятельств.



## ЛЕКЦИЯ 2

### Трудоемкость технологических операций

Трудоемкость выполнения технологических операций является критерием эффективности технологического процесса и определяется на основе технически обоснованных норм рабочего времени (ГОСТ 3.1109-82).

**Норма времени** – регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

**Норма выработки** – регламентированный объем работы, который должен быть выполнен в единицу времени в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

Есть три метода установления норм времени: на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением; по нормативам и расчетом по типовым нормам.

Первые два метода нормирования применяют в серийном и массовом производствах, третий – в единичном и мелкосерийном.

**Штучное время** – есть время, равное отношению времени цикла технологических операций к числу одновременно изготавливаемых изделий.

Штучное время  $t_{ш}$  для неавтоматизированного производства состоит из элементов

$$t_{ш} = t_0 + t_B + t_T + t_{ОРГ} + t_{П}, \quad (2.1)$$

где  $t_0$  - основное (технологическое) время;

$t_B$  - вспомогательное время;

$t_T$  - время технического обслуживания рабочего места;

$t_{ОРГ}$  - время организационного обслуживания рабочего места;

$t_{П}$  - время перерывов.

**Основное время**  $t_0$  - часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояния предмета труда.

**Вспомогательное время**  $t_B$  - часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предметов труда.

**Организационное время**  $t_{ОРГ}$  - часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ним и рабочим местом (4-8% к оперативному времени).

**Время перерывов**  $t_{П}$  - время на личные потребности на отдых, производственную гимнастику регламентируют законодательством и исчисляют в процентах к оперативному времени ( $\approx 2,5\%$  для механических цехов).

Обычно составляющие штучного времени определяют в процентах (долях) оперативного времени.

Тогда можно записать

$$t_{ш} = t_{ОП} (1 + \alpha + \beta + \gamma), \quad t_{ОП} = t_0 + t_B, \quad (2.2)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  - соответствующие коэффициенты, характеризующие составляющие штучного времени.

В единичном производстве в штучное время включается еще подготовительно-заключительное время.

**Подготовительно-заключительное время** – это время, затрачиваемое на подготовку исполнителя и средств технологического оснащения к выполнению технологической операции и приведение последних в порядок после окончания смены.

В серийном производстве норму времени на обработку партии заготовок рассчитывают по формуле

$$t_H = t_{ш} \cdot n + t_{П-З}, \quad (2.3)$$

где  $n$  – размер партии.

Штучное время и подготовительно-заключительное время на выполнение операции над одной деталью образуют **норму штучно-калькуляционного времени**

$$t_{Ш-К} = t_{Ш} + (t_{П-З} / n). \quad (2.4)$$

На основе норм времени определяют расценки выполняемых операций, рассчитывают необходимое количество оборудования для выполнения программы, осуществляют планирование производственного процесса.

## Тема 3 ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЛЕКЦИЯ 3

### 3.1 Общие положения

Под точностью понимают степень соответствия полученных размеров и формы детали с чертежом на данную деталь и техническим требованиям.

Конфигурация деталей часто определяется комбинацией геометрических тел, ограниченных поверхностями простейших форм: плоскостями, цилиндрическими, коническими и т.д.

Можно установить следующие основные признаки соответствия детали заданным требованиям:

1. точность формы, то есть степень соответствия отдельных участков детали тем геометрическим телам, с которыми они отождествляются;
2. точность размеров участков (поверхностей) детали;
3. точность взаимного расположения поверхностей;
4. степень шероховатости поверхности, то есть степень соответствия реальной поверхности геометрической поверхности, представляемой идеально гладкой.

Конструктор, исходя из условий работы машины или аппарата, устанавливает нормы точности как на изготовление отдельных деталей, так и на их взаимное расположение относительно друг друга в собранной конструкции (сопряжения). Нормы точности изготовления деталей оговариваются допусками на размеры и допустимыми отклонениями формы деталей от теоретической.

В реальных производственных условиях отклонения размеров и формы деталей зависят от многих причин, приводящих к невозможности получения одинаковых по размерам и форме деталей, даже в пределах партии из нескольких штук. Установление величины отклонений, возникающих в процессе выполнения технологического процесса, является основой оценки точности различных методов обработки.

### 3.2 Факторы, определяющие точность обработки

На точность обработки существенно влияет ряд факторов, соответствующих движению режущей кромки инструмента по обрабатываемой поверхности. В результате несоответствия действительных движений заготовки и инструмента движениям, предусмотренным кинематической схемой станка возникает **погрешность обработки**. Все погрешности обработки на металлорежущих станках делятся на следующие основные виды:

#### 1. Теоретические погрешности.

Это заранее допущенные отклонения геометрической формы деталей от теоретической. Например, при фрезеровании цилиндрических зубчатых колес наборами дисковых модульных фрез возникает искажение эвольвентного профиля зубьев.

#### 2. Погрешности, связанные с неточностью работы станков.

Такие погрешности зависят от работы станка, то есть насколько действительные движения заготовки и инструмента соответствуют кинематической схеме станка. Их можно рассматривать при работе станка в ненагруженном состоянии и под нагрузкой. Погрешности, возникающие в ненагруженном состоянии зависят в основном от неточностей, допущенных при изготовлении отдельных деталей станка и при его сборке. Погрешности станка поддаются контролю и не должны превышать стандартных норм точности.

#### 3. Погрешности, возникающие в процессе работы станков под нагрузкой.

Все отклонения, возникающие в нагруженном состоянии, оказывают существенное влияние как на точность получаемых размеров деталей, так и на искажение их геометрической формы. Например, при отклонении от соосности центров станка в плоскости, параллельной направляющей станины, получается деталь с погрешностью геометрической формы – конусом (рис.3.1).

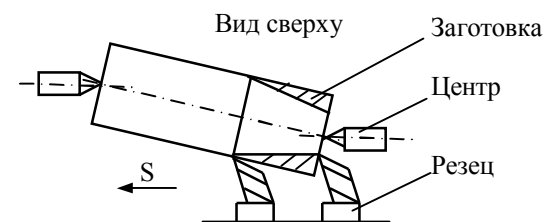


Рис. 3.1 – Погрешность геометрической формы (конусность)

Биение шпинделя станка является одной из причин образования овальной формы детали.

Отклонение от параллельности или от перпендикулярности стола по отношению к шпинделю, а, следовательно, к инструменту, вызывает также погрешности геометрической формы.

4. **Погрешности, возникающие вследствие деформации упругой технологической системы** станок – приспособление – инструмент - заготовка; и

5. **Погрешности геометрической формы**, возникающие от действия силы резания.

При обработке заготовок на металлорежущих станках технологическая система упруго деформируется под действием сил резания, сил зажима и ряда других факторов. Возникновение деформации объясняется наличием зазоров в стыковых соединениях частей станка, упругой деформацией отдельных его частей, деформацией приспособления, инструмента и детали. Упругие деформации технологической системы вызывают рассеяние размеров деталей в обрабатываемой партии, а также являются основной причиной возникновения волнистости.

Величина деформации зависит от способности узлов и деталей оказывать сопротивление действующим силам и определяется **жесткостью**.

$$J_c = P_Y / Y, \text{ н/м}, \quad (3.1)$$

где  $J_c$  - жесткость технологической системы;

$P_Y$  - радиальная составляющая силы резания;

$Y$  - величина смещения режущего инструмента, деформация инструмента.

Величину, обратную жесткости, называют **податливостью** упругой системы:

$$\omega = \frac{1}{J_c} = \frac{Y}{P_Y}. \quad (3.2)$$

На рис. 3.2 приведены схемы обработки вала в центрах (3.2а) и патроне (3.2б) и погрешности геометрической формы, возникающие от действия радиальной составляющей силы резания.

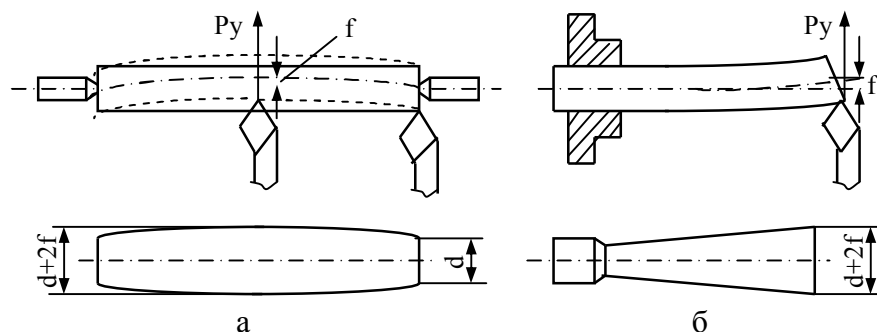


Рис. 3.2 – Составляющие силы резания

Таким образом, недостаточная жесткость обрабатываемых деталей является основной причиной возникновения погрешностей геометрической формы (бочкообразность и конусность) под действием силы резания.

**Величину деформации  $f$**  (стрелу прогиба) для деталей, обрабатываемых в центрах, определяют по формуле

$$f = \frac{P_Y l^3}{48 EJ}, \quad (3.3)$$

где  $l$  – длина вала, м;

$E$  – модуль упругости, Па;

$J$  – момент инерции,  $\text{м}^4$ .

Для валов момент инерции

$$J = \pi d^4 / 4. \quad (3.4)$$

Допускаемая погрешность геометрической формы вала не должна превышать величины допуска на диаметр

$$2f \leq \delta \text{ или } f \leq \delta / 2.$$

При закреплении валов в патроне величину прогиба можно определить, если принять заготовку за консольную балку:

$$f = \frac{P_Y l^3}{3EJ}. \quad (3.5)$$

Для уменьшения влияния сил резания на погрешности геометрической формы обрабатываемой детали необходимо:

- разделить операцию на предварительную и окончательную, последнюю производить на более точном оборудовании;
- подбирать геометрическую форму режущего инструмента, обеспечивающую наиболее благоприятное распределение сил резания.

#### 6. Погрешности установки и базирования заготовок.

Кроме погрешностей базирования, порождаемых несовпадением установочной и конструкторской (или измерительной) баз, могут возникнуть смещения или деформации заготовки под действием сил зажима. В этом случае большое значение имеет правильный выбор опорных поверхностей, точек приложения сил зажима и жесткости приспособления.

#### 7. Температурные погрешности.

Под действием температуры часто происходит изменение размеров и формы деталей. Причинами температурных деформаций являются метеорологические условия (температура воздушной среды на производстве), нагрев обрабатываемой детали вследствие выделения теплоты при резании.

Температурная погрешность размеров деталей зависит от величины линейных размеров и температурного коэффициента линейного расширения металла

$$\Delta l = l\alpha(t - t_0), \quad (3.6)$$

где  $l$  – размер обрабатываемой заготовки;

$t - t_0$  - изменение температуры заготовки за время обработки;

$\alpha$  - температурный коэффициент линейного расширения.

Для уменьшения деформаций, вызванных влиянием температуры, рекомендуют: тщательный подбор режимов резания и высокое качество заточки режущего инструмента, применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). При выполнении особо точных работ СОЖ необходимо охлаждать до  $10^\circ\text{C}$ .

В общем погрешности могут быть вызваны еще рядом причин: например, в литых и кованных деталях – от неравномерного охлаждения; при механической обработке – вследствие перераспределения напряжений после удаления поверхностного слоя металла. В каждом конкретном случае необходимо анализировать возможные факторы влияния на погрешность обработки и применять способы, позволяющие уменьшить ее величину.

## ЛЕКЦИЯ 4

### 4.1 Рассеивание размеров обрабатываемых деталей

Контролируемые размеры двух любых изделий, взятых из одной партии, различны. У изделий одной партии, изготовленных в одинаковых условиях, можно установить максимальное значение разности их значений или **поле рассеивания**. Оно характеризует точность выбранного метода изготовления для данных производственных условий.

Установлено, что погрешности характеризуются кроме поля рассеивания размеров еще законом их распределения. Знание этого закона позволяет применять методы математической статистики и теории вероятности. Пользуясь этими методами можно расчетно-аналитическим путем определить наиболее вероятное значение размеров получаемых деталей при данных условиях производства.

Анализ влияния факторов на погрешность можно вести следующим образом. Измеряя контролируемый размер деталей одной партии, после изготовления их на станке, можно в пределах поля рассеивания разделить их на несколько групп с размерами в пределах определенного интервала. Тогда при достаточно большой партии деталей (50 ... 100 шт.) можно обнаружить, что число деталей в группах различно. Если построить график, расположив по оси абсцисс номера групп с последовательно возрастающими значениями размеров от  $A_{min}$  до  $A_{max}$ , а по оси ординат – число деталей  $m$ , попавших в каждую группу (частоту повторения значений), то получившаяся кривая выразит закон распределения размеров деталей в данной партии.

Если  $n$  – число деталей в партии, то отношение  $m/n$  называют частотой появления случайного события (в данном случае детали одной категории точности).

В зависимости от степени влияния различных факторов можно получить разные формы кривых, характеризующих законы распределения. Наиболее часто встречающимися являются: кри-

вая распределения по закону равной вероятности, кривая Симпсона и кривая Гаусса (закон нормального распределения).

Например, если точность размера при выбранном методе производства зависит только от одного фактора (износа инструмента), то имеет место закон равной вероятности. Если износ инструмента в процессе обработки нарастает во времени по прямолинейному закону, то размер детали также будет изменяться строго постоянно, увеличиваясь или уменьшаясь (рис. 4.1).

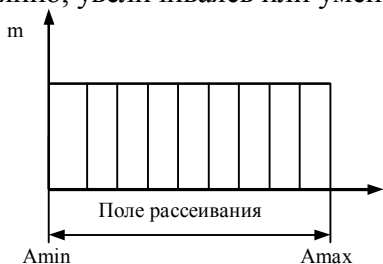


Рис. 4.1 – Закон равной вероятности

Если появляется влияние еще одного фактора, то характер изменения размеров может быть другим. Например, в случае недостаточной жесткости технологической системы и в связи с износом ее элементов появляется дополнительная деформация. При суммарном действии двух факторов закон распределения имеет форму треугольника – закон Симпсона (рис. 4.2).



Рис. 4.2 – Закон Симпсона

Если влияние всех факторов в процессе обработки заготовок одинаково и ни один из них не является ярко выраженным, по-

лучение наперед заданного размера в данный момент времени не может быть обеспечено. Однако при этом можно установить наиболее вероятный ожидаемый размер в данной партии по закону Гаусса (рис. 4.3).

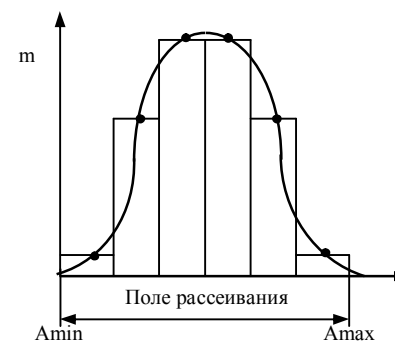


Рис. 4.3 – Закон нормального распределения

Этот размер располагается в середине поля рассеивания, которое и характеризует техпроцесс, выбранный для обеспечения заданного значения параметра.

#### 4.2 Расчетно-аналитический метод обеспечения точности обрабатываемых заготовок

Изучение причин (факторов), вызывающих погрешности при обработке заготовок на металлорежущих станках, позволило установить связь между ними и, таким образом, управлять погрешностями, снижая или устраняя их. В некоторых случаях можно воздействовать на факторы так, чтобы они взаимно понижали или ликвидировали отдельные погрешности. Однако так можно поступать, если известен закон действия каждого фактора в отдельности.

В результате совокупного действия всех факторов возникает так называемая результирующая погрешность заданного размера. Ее надо знать заранее и не допускать, чтобы ее значение было больше допуска на размер.

**Погрешности** в пределах данной совокупности размеров можно разделить на систематические постоянные (одинаковые для всей совокупности размеров), систематические переменные (закономерно изменяющиеся по ходу техпроцесса) и случайные (погрешности рассеивания), имеющие различные значения при не выявленных причинах их появления.

Для определения результирующей погрешности необходимо суммировать все погрешности от разных факторов по размеру и знаку. Систематические постоянные погрешности суммируют алгебраически (с учетом их знаков), что в результате может привести как к увеличению, так и к уменьшению погрешностей или к их компенсации. Систематические переменные погрешности любого знака суммируют арифметически, причем исходят из наименее выгодных условий.

**Случайные** погрешности суммируют по правилу квадратного корня:

$$\Delta = \sqrt{\kappa_1 \Delta_1^2 + \kappa_2 \Delta_2^2 + \kappa_3 \Delta_3^2 + \dots + \kappa_m \Delta_m^2}, \quad (4.1)$$

где  $\kappa_1, \kappa_2, \dots$  - коэффициенты, зависящие от вида всех кривых распределения;

$\Delta_1, \Delta_2, \dots$  - независимые случайные погрешности.

Если все составляющие погрешности следуют одному закону распределения, то  $\kappa_1 = \kappa_2 = \dots \kappa_m = \kappa$ . Наименьшая результирующая погрешность бывает когда составляющие погрешности следуют закону нормального распределения ( $\kappa = 1$ ). При износе инструмента результирующая погрешность возрастает ( $\kappa = 1,2 \dots 1,5$ ), а при большом износе кривая распределения составляющих погрешности следует уже закону равной вероятности ( $\kappa = 1,7$ ). При работе на предварительно настроенных станках с автоматическим получением размеров и незначительным износом режущего инструмента распределение большинства случайных погрешностей близко к закону нормального распределения.

Основными характеристиками распределения случайной погрешности являются: **средний размер и среднее квадратиче-**

**ское отклонение.** Понятие среднего размера относится к любому параметру - диаметру, длине, угловому размеру, отклонению от параллельности, плоскости, перпендикулярности, соосности и т.д. Средний размер определяется как среднее арифметическое

$$L_{cp} = (L_1 + L_2 + \dots + L_n) / n, \quad (4.2)$$

где  $L_1, L_n$  - размеры отдельных заготовок или деталей;

$n$  - общее число заготовок.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{cp} = \sqrt{[(L_1 - L_{cp})^2 + (L_2 - L_{cp})^2 + (L_n - L_{cp})^2] / n}. \quad (4.3)$$

Опытные кривые можно заменить математическими кривыми, характеризующими определенные законы распределения случайных погрешностей. Так кривая Гаусса с ординатой «у» имеет вид

$$J = \frac{1}{\sigma_{cp} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{cp}^2}}, \quad (4.4)$$

где  $x = L_i - L_{cp}$ .

Чем меньше значение  $\sigma_{cp}$ , тем меньше рассеивание и кривая имеет суженную форму (рис.4.4).

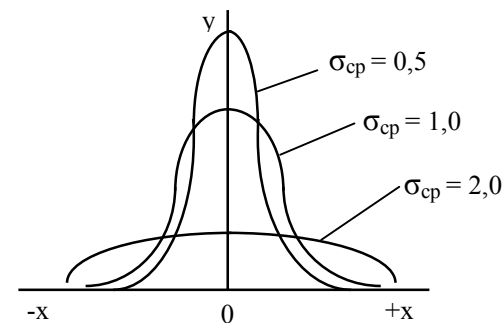


Рис. 4.4 – Влияние  $\sigma_{cp}$  на форму кривой рассеивания

В тех случаях, когда распределение случайных погрешностей подчиняется закону нормального распределения, в интервале  $\pm 0,3\sigma_{cp}$  находится около 25% размеров деталей партии, в интервале  $\pm 0,7\sigma_{cp} \sim 50\%$ , в интервале  $\pm 1,1\sigma_{cp} \sim 75\%$  и в интервале  $\pm 3\sigma_{cp}$  - около 99,7% всех размеров.

### 4.3 Определение возможного брака по площади кривой распределения

Кривые рассеивания фактических размеров, полученные на основании наблюдений, имеют вид ломаных линий. Для сопоставления и определения степени приближения кривой рассеивания фактических размеров к теоретической кривой распределения вычерчивают обе кривые в одинаковом масштабе.

Зная средний размер  $L_{cp}$  и среднее квадратичное отклонение  $\sigma_{cp}$  можно построить кривую нормального распределения для каждого наблюдения. Графическое построение может быть упрощено, если воспользоваться значениями ординат  $Y$ , вычисленных при  $\sigma_{cp} = 1$ , т.е. для уравнения

$$Y = \frac{10000}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}, \quad (4.5)$$

где  $Z = x/\sigma$ ;  $x = L_i - L_{cp}$  - абсцисса, отсчитываемая от центра группирования) (т.е. координата  $L_{cp}$  принимается за «0»).

В зависимости от аргумента  $Z$  величина  $Y$  имеет следующие значения:

$\pm Z$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$\pm Y$	3989	3521	2420	1295	540	175	44

Для построения ветви кривой нормального распределения достаточно 5-7 точек, причем первое значение абсциссы, определяющее вершину кривой, необходимо принять  $X=0$ , а последнее не должно выходить за пределы  $X=3\sigma$ . После этого опреде-

ляют  $Z = x/\sigma$  и по этим данным находят соответствующее значение  $Y$ .

Для приведения кривой нормального распределения к тому же масштабу (частоте), что и у кривой рассеивания фактических размеров, ординату  $Y$  умножают на масштабный коэффициент

$$m_i = Y[(n\Delta_x)/(10000\sigma)], \quad (4.6)$$

где  $m_i$  - ордината кривой нормального распределения в масштабе фактическом;

$n$  - общее число деталей в партии;

$\Delta_x$  - интервал на оси абсцисс, принятый при построении кривой рассеивания фактических размеров (в тех же единицах, что и  $\sigma$ ).

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения, выражает в установленном масштабе полное число деталей в данной партии (рис.4.5).

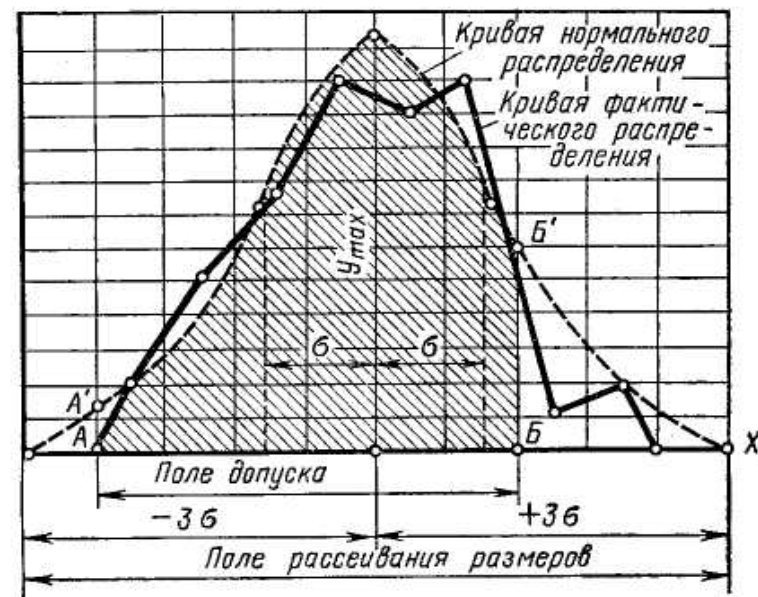


Рис. 4.5 – Кривые нормального и фактического распределения размеров



Часть площади, ограниченная прямыми AA' и BB' и кривой нормального распределения (заштрихованная площадь), определяет число годных деталей.

Вероятность получения деталей с размерами в границах допуска определяется отношением заштрихованной площади ко всей площади, ограниченной кривой, а незаштрихованные площади определяют вероятность брака. Таким образом, отнеся эти площади к общей площади кривой распределения и умножив на 100, можно получить процент брака для данного технологического процесса.

Для определения соответствующих площадей (ограниченных верхним и нижним пределами допуска), расположенных по обе стороны центра рассеивания, пользуются уравнением кривой Гаусса при аргументе  $Z = x/\sigma$ :

$$P = n/N = \Phi(Z), \quad (4.7)$$

где  $P$  - частота (вероятность) появления благоприятных случаев;

$n$  - число благоприятных случаев;

$N$  - число возможных случаев;

$\Phi(Z)$  - площадь под одной половиной кривой нормального распределения, ограниченной с одной стороны средним значением (ось симметрии кривой) и с другой стороны – отклонением отдельных значений.

Значения  $\frac{1}{2}\Phi(Z)$  (половины предельных площадей под кривой нормального распределения) приводятся в справочниках.

## ЛЕКЦИЯ 5

### Статистический метод исследования точности обработки с построением точечных диаграмм

Технологический процесс может быть устойчивым или неустойчивым, налаженным или разлаженным, вследствие чего качество деталей может получаться однородным или неоднородным. Детали однородного качества имеют незначительные колебания, а детали неоднородного качества характеризуются большими колебаниями размеров, формы или свойства.

С помощью кривых распределения исследуют точность обработки законченного технологического процесса. При этом не учитывается последовательность обработки заготовок, так как все заготовки данной партии как бы перемешиваются, и систематические постоянные и переменные погрешности не отделяются от случайных. Влияние их выражается в общем виде как рассеивание размеров.

Систематический метод исследования с построением точечных диаграмм позволяет исследовать техпроцесс глубже, чем метод кривых распределения, при этом оказывается возможным разделить влияние случайных и систематических погрешностей.

Состояние техпроцесса и однородность качества изготовленных деталей можно определить по характеру расположения на графике точек, соответствующих действительным размерам, измеренным на нескольких деталях подряд.

Несколько образцов, взятых для измерения сразу после обработки, называют **пробой**. Число деталей в отдельных пробах должно быть одинаковым.

Результаты измерения каждого образца данной пробы отмечают на графике отдельной точкой, поставленной против того деления шкалы, которому соответствует измеренный размер. На рис. 5.1 а - г показаны графики с результатами измерений проб из пяти деталей.

	Размер	№ пробы					Суммарная характеристика по всем пробам
		1	2	3	4	5	
	15						
	14						
	13						
	12						
Поле допуска	11						
	10	x			x		xx
	9	x	xx	x	x	x	xxxxxx
	8		xx	xx	xx	xxx	xxxxxxxx
	7	xx	x	xx	x	x	xxxxxx
	6	x					x
	5						
	4						
	3						
	2						
	1						

а)

	Размер	№ пробы					Суммарная характеристика по всем пробам	разброс«а»
		1	2	3	4	5		
	15		x				x	
	14	x	xx	x	x	x	xxxxxx	
	13	xx	xx	xxx	xx	xx	xxxxxxxxxx	
	12	xx		x	xx	x	xxxxxx	
Поле допуска	11					x	x	
	10							
	9							
	8							
	7							
	6							
	5							
	4							
	3							
	2							
	1							

б)

	Размер	№ пробы					Суммарная характеристика по всем пробам
		1	2	3	4	5	
	15						
	14						
	13		x		x		xx
	12	x		x	x	x	xxxx
Поле допуска	11		x				x
	10	x		x		x	xxx
	9		x	xx	x		xxxx
	8	x				x	xx
	7	x				x	xxx
	6		x			x	xx
	5	x					x
	4		x		x		xx
	3					x	x
	2						

в)

	Размер	№ пробы					Суммарная характеристика по всем пробам
		1	2	3	4	5	
	15						
	14						
	13		x		x		xx
	12	x		x	x	x	xxxx
Поле допуска	11		x				x
	10	x		x		x	xxx
	9		x	xx	x		xxxx
	8	x				x	xx
	7	x		x		x	xxx
	6		x			x	xx
	5	x					x
	4		x		x		xx
	3					x	x
	2						
	1						

г)

Рис. 5.1 – Точечные диаграммы

График 5.1а характеризует устойчивый налаженный техпроцесс, так как все точки размещаются в пределах допуска и центр кривой рассеивания располагается на линии, разделяющей поле допуска на две примерно равные части.

На рисунке 5.1б поле рассеяния симметрично, но сильно смещено в сторону увеличения размера, при этом разброс «а» меньше размера допуска. Это говорит о том, что техпроцесс обработки является устойчивым, но требует подналадки для общего уменьшения размеров детали, чтобы все точки, характеризующие качество деталей оказались в пределах поля допуска.

На рисунке 5.1в большой разброс точек, выходящих в ряде случаев за пределы поля допуска, хотя центр рассеивания лежит в середине допуска на размер. Это свидетельствует о том, что метод изготовления должен быть изменен, например, введением повторного рабочего хода или заменой обтачивания шлифованием.

На рисунке 5.1г показан график, характеризующий наличие какой-то постоянной причины, вызывающей смещение центра рассеивания, что определяет необходимость наладки станка для устранения этой причины.

Чтобы подналадка процесса обработки была сведена к минимуму и проводилась как можно реже, необходимо стремиться использовать полный размер поля допуска от наладки до наладки.

## Тема 4 РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ

### Лекция 6

#### Размерный анализ

Качество изготовления и сборки деталей обеспечивается, в частности, правильной постановкой размеров на рабочих (сборочных) чертежах. В большинстве случаев отдельные размеры находятся во взаимосвязи друг с другом; изменение одного из размеров влияет на один или несколько других размеров.

**Размерной цепью** называется совокупность размеров (звеньев), образующая замкнутый контур и отнесенная к одной детали или группе деталей. **Звеном** размерной цепи называется один из размеров, образующих размерную цепь.

Различают следующие виды размерных цепей (рис. 6.1):

1. с линейными размерами и параллельными звеньями (6.1а);
2. с линейными размерами с непараллельными звеньями (6.1б);
3. с угловыми размерами (6.1в).

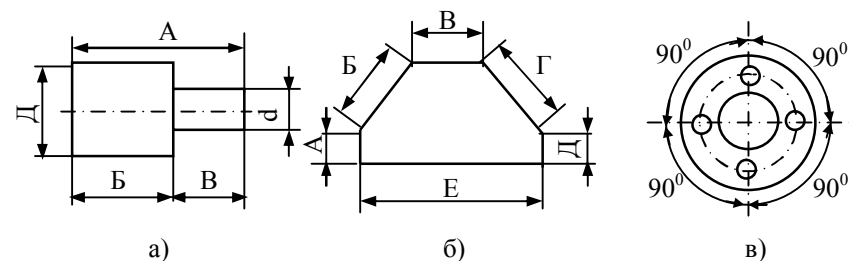


Рис. 6.1 – Виды размерных цепей

Цепи с угловыми размерами характерны для деталей, требующих при обработке деления окружности на равное число частей, например, зубчатые и червячные колеса, фрезы и т.п., из-за трудности точного измерения угловых величин угловые размерные цепи часто заменяют линейными цепями с непараллельными звеньями (рис. 6.2).

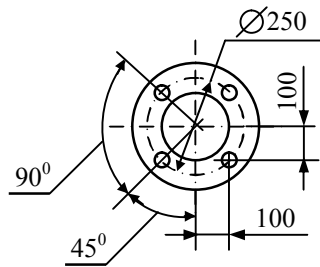


Рис. 6.2 - Линейная цепь с непараллельными звеньями

Контроль размеров возможен с помощью калибров для межцентровых расстояний;

4. – пространственные цепи, звенья которых расположены в непараллельных плоскостях. Такие размерные цепи встречаются очень редко и для их решения проектируют все размеры на одну плоскость.

Звенья размерной цепи подразделяют на **составляющие звенья и замыкающее звено**. **Замыкающим звеном** называют звено, получаемое в процессе изготовления и измерения последним. Определение того или иного звена замыкающим зависит от порядка обработки заготовок или сборки деталей. Так при обработке ступенчатого вала (рис. 6.1а), чтобы звено *B* было обработано последним, нужно сначала отрезать заготовку размером *A*, затем, обтачивая вал в размере малого диаметра *d*, выдержать в пределах заданной точности размер *B*, и тогда размер *B* получится последним.

Если в качестве замыкающего звена нужно иметь общий размер ступенчатого вала по длине *A*, то заготовку берут несколько большей длины, чем размер *A*. Вначале обтачивают меньшую ступень вала на длину *B*, а затем отрезают готовую деталь, выдерживая размер *B*. Общая длина вала *A* при этом будет замыкающим звеном. Таким образом, меняя порядок обработки, можно в качестве замыкающего звена получить любое звено размерной цепи.

Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена, называется **составляющим**. Составляющие звенья размерной цепи подразделяют на две группы:

увеличивающие и уменьшающие.

**Увеличивающим** называют звено, которое при своем увеличении увеличивает размер замыкающего звена. **Уменьшающее** звено при своем увеличении уменьшает размер замыкающего звена. Так, если у ступенчатого вала (рис. 6.1а) принять в качестве замыкающего – звено *B*, то звено *A* будет увеличивающим, а звено *B* – уменьшающим. Правильность размерного расчета зависит от правильности нахождения увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Общее правило: нахождение увеличивающих и уменьшающих звеньев в составлении уравнения номинальных размеров, связывающего все члены размерной цепи, и решения его относительно номинального размера замыкающего звена. Тогда все члены правой части уравнения со знаком плюс будут увеличивающими звеньями, а со знаком минус – уменьшающими.

При решении размерных цепей возникает две задачи – прямая и обратная. При прямой задаче по допускам составляющих звеньев находят допуск замыкающего звена. При обратной задаче по допуску замыкающего звена определяют допуск составляющих звеньев.

Возьмем простейшую размерную цепь (ступенчатый вал, рис.6.1а) с замыкающим звеном *B*, в которой, как уже говорили, *A* – увеличивающее, а *B* – уменьшающее звено. Из рисунка следует

$$A = B + B \text{ или } B = A - B.$$

В общем случае для любого числа звеньев размерной цепи уравнение номинальных размеров будет:

$$B = \sum A - \sum B. \quad (6.1)$$

Предельные значения замыкающего звена *B* зависят от предельных значений составляющих звеньев *A* и *B*:

$$B_{\sigma} = A_{\sigma} - B_{\text{м}}; \quad B_{\text{м}} = A_{\text{м}} - B_{\sigma}, \quad (6.2)$$

где  $A_{\bar{\sigma}}, B_{\bar{\sigma}}, V_{\bar{\sigma}}$  и  $A_m, B_m, V_m$  – соответственно наибольшие и наименьшие значения звеньев.

Вычитая из первого уравнения второе, получим

$$B_{\bar{\sigma}} - B_m = (A_{\bar{\sigma}} - B_m) - (A_m - B_{\bar{\sigma}}) = (A_{\bar{\sigma}} - A_m) + (B_{\bar{\sigma}} - B_m). \quad (6.3)$$

Но разность предельных размеров есть допуск на этот размер, следовательно

$$\delta_B = \delta_A + \delta_B. \quad (6.4)$$

Отсюда для любой размерной цепи с числом звеньев  $n$ , обозначив  $\delta_3$  допуск замыкающего звена, имеем

$$\delta_B = \sum \delta_n. \quad (6.5)$$

Таким образом, допуск замыкающего звена размерной цепи равен сумме допусков всех составляющих звеньев.

Уравнение  $\delta_B = \sum \delta_n$  является основным уравнением размерного анализа, из которого вытекают два правила:

1. В качестве замыкающего звена в размерной цепи надо выбирать самое глубокое (с точки зрения эксплуатации) по точности звено, чтобы для него можно было назначить суммарный допуск всей размерной цепи.

Это правило основано на том, что в замыкающем звене, поскольку оно является последним в процессе изготовления, накапливаются погрешности предшествующей обработки всех составляющих звеньев.

2. Для облегчения решения размерной цепи необходимо проектировать цепи с наименьшим числом звеньев.

Это правило иногда называют правилом короткой размерной цепи и обосновывают тем, что при большом числе размеров (10 ... 15) в замыкающем звене получается такой большой допуск, что ни на одно из звеньев размерной цепи его назначить нельзя.

Недостаточно знать номинальный размер и допуск замыкающего звена, следует найти и отклонения размера от номинала

$$\Delta_{BA} = A_{\bar{\sigma}} - A; \quad \Delta_{HA} = A_m - A, \quad (6.6)$$

где  $\Delta_{BA}$  - верхнее отклонение размера  $A$ ;

$A_{\bar{\sigma}}$  - наибольший предельный размер;

$\Delta_{HA}$  - нижнее отклонение размера  $A$ ;

$A_m$  - наименьший размер (предельный).

Отсюда

$$A_{\bar{\sigma}} = A + \Delta_{BA}; \quad A_m = A + \Delta_{HA}. \quad (6.7)$$

Для остальных звеньев размерной цепи можно написать аналогичные уравнения, т.е. всего шесть вспомогательных уравнений. Используя их, мы можем получить соотношения для верхнего и нижнего отклонения замыкающего звена.

Уравнение максимума замыкающего звена имеет вид

$$B_{\bar{\sigma}} = A_{\bar{\sigma}} - B_m. \quad (6.8)$$

Заменив каждый член этого уравнения соответственно одним из вспомогательных уравнений, получим

$$B + \Delta_{BB} = A + \Delta_{BA} - B - \Delta_{HB}, \quad (6.9)$$

вычитая из него почленно уравнения номинальных размеров  $B = A - B$ , получим

$$\Delta_{BB} = \Delta_{BA} - \Delta_{HB}. \quad (6.10)$$

Для любой размерной цепи с каким угодно числом звеньев уравнение верхнего отклонения замыкающего звена имеет вид

$$\Delta_{BB} = \sum \Delta_{BA} - \sum \Delta_{HB}. \quad (6.11)$$

Таким образом, верхнее отклонение замыкающего звена равно разности сумм верхних отклонений всех увеличивающих звеньев и нижних отклонений всех уменьшающих звеньев.

Аналогично можно получить

$$\Delta_{HB} = \sum \Delta_{HA} - \sum \Delta_{BB}, \quad (6.12)$$

т.е. нижнее отклонение замыкающего звена равно разности сумм нижних отклонений всех увеличивающих звеньев и верхних отклонений всех уменьшающих звеньев.

## Тема 5 КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

### Лекция 7

#### 7.1 Качество поверхности

**Основные понятия.** В отличие от теоретических поверхностей деталей, изображаемых на чертежах, на реальных поверхностях в процессе обработки всегда имеются неровности различной формы и высоты. Характер неровностей зависит от ряда причин: режима обработки, условий охлаждения и смазки режущего инструмента, химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала; конструкции, геометрии и режущей способности инструмента, типа и состояния оборудования и т.д. Различают следующие отклонения от теоретических поверхностей:

- макрогеометрические;
- волнистость;
- микрогеометрические.

**Макрогеометрические отклонения** – единичные, не повторяющиеся регулярно отклонения от теоретической формы поверхности с большим отклонением протяженности поверхности к высоте отклонения ( $L/h > 1000$ ). Такие отклонения характеризуют овальность, конусообразность и др. отклонения от правильной геометрической формы.

**Волнистость поверхности** представляет собой совокупность периодически чередующихся возвышений и впадин с отношением  $L/h = 50 \dots 1000$ . Волнистость является следствием вибрации технологической системы, а также неравномерности процесса резания.

**Микрогеометрические отклонения или микронеровности**, образуются в результате воздействия режущей кромки инструмента на обрабатываемую поверхность, а также вследствие пластической деформации обрабатываемого материала в процессе резания микронеровности определяют шероховатость обработанной поверхности. Шаг микронеровностей имеет отношение к

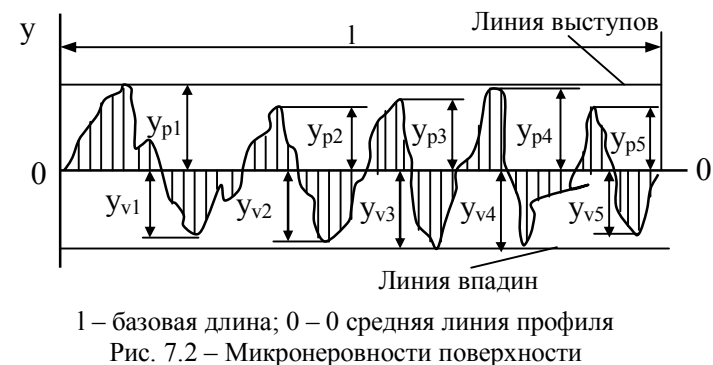
высоте ( $L/h < 50$ ). Характер и направление микронеровностей зависят от направления главного движения резания и направления движения подачи. Направления неровностей имеют условные обозначения и проставляются на чертежах (рис.7.1).

Направление неровностей	Схема направления неровностей	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

Рис. 7.1 - Разновидности направлений неровностей

**Шероховатость поверхности.** Под шероховатостью поверхности согласно ГОСТ 25142-82 понимается совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине  $l$  (рис. 7.2).

Для количественного определения шероховатости, кроме  $l$ , имеется средняя линия профиля – базовая линия, повторяющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии было минимально.



Площади  $A$  по обеим сторонам этой линии на длине базы  $l$  равны между собой (рис.7.3).

$$A_1 + A_3 + \dots + A_n = A_2 + A_4 + \dots + A_{n+1} \quad (7.1)$$

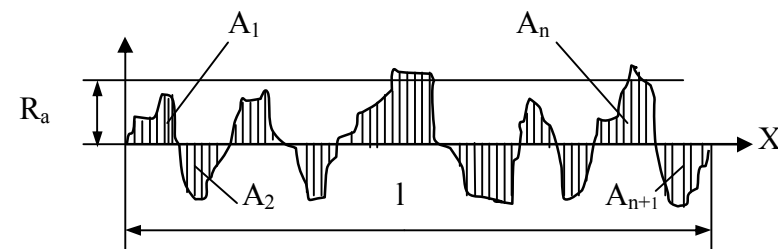


Рис.7.3 – К определению  $R_a$

Числовые значения базовой длины  $l$  выбирают из ряда:

0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Параметрами шероховатости, связанными с высотой неровностей, являются: высота выпуска профиля  $y_p$  – расстояние от средней линии профиля до высшей точки выпуска профиля – и  $y_v$  – глубина впадины профиля – расстояние от средней линии профиля до низшей впадины его.

**Высота неровностей  $R_z$**  характеризует среднее расстояние между находящимися в пределах базовой длины  $l$  пятью высшими точками выступов  $y_p$  и пятью низшими точками впадин  $y_v$ :

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}. \quad (7.2)$$

**Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$**  – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (7.3)$$

Шероховатость поверхностей обозначается числовыми значениями параметров  $R_a$  и  $R_z$  ( $R_a$  предпочтительнее). Значения шероховатости поверхности приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Значения шероховатости поверхности

$l$	$R_a$	$R_z$
8	80	320
	40	160
	20	80
2.5	10	40
	5	20
0.8	2.5	10
	1.25	6.3
	0.63	3.2
0.25	0.32	1.6
	0.16	0.8
	0.08	0.4

В соответствии с ГОСТ 2.309-73 для обозначения шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак  $\sqrt{\quad}$ ; знак  $\checkmark$  применяют для

обозначения шероховатости поверхности, образуемой без удаления слоя металла, например, литьем, ковкой, штамповкой, прокатом, волочением и т.п.

Шероховатость поверхности, образованной удалением слоя материала: точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и т.п., обозначают знаком  $\checkmark$ .

Структура обозначения шероховатости

$$\sqrt[0,32]{\begin{array}{c} \text{Полировать} \\ 0,08 \\ \text{M} \end{array}}$$

При необходимости указания кроме параметра вида обработки, базовой длины, условного обозначения направления неровностей применяют знак с полкой,  $R_a$  и  $R_z$  – в микрометрах (мкм).

Параметры шероховатости указываются следующим образом: для параметра  $R_a$  (предпочтительнее) без символа, например  $\sqrt{0,63}$ , а для остальных параметров – после соответствующего символа, например,  $R_z \sqrt{0,63}$ .

Качество поверхности влияет на эксплуатационные свойства деталей машин.



## Тема 6 БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ

### ЛЕКЦИЯ 8

#### 8.1 Основные понятия и термины

Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется **базированием**.

**База** – это поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Все поверхности детали в зависимости от служебного назначения подразделяются на основные, вспомогательные, исполнительные и свободные (рис. 8.1).

**Основные** поверхности определяют положение детали в изделии.

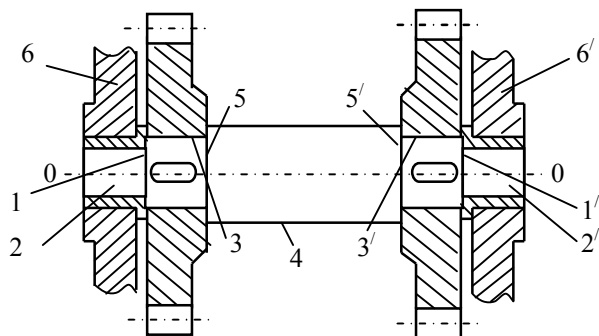


Рис. 8.1 – Виды поверхностей детали

На рис. 8.1 цилиндрические поверхности крайней шейки 2(2') (их ось) и уступ 1(1') ступенчатого вала являются основными, определяющими положение вала в корпусе 6(6'); уступы препятствуют перемещению вала вдоль оси.

**Вспомогательными** называют поверхности детали, определяющие положение всех присоединяемых деталей относительно данной. На рисунке у вала имеется два комплекта вспомога-

ных поверхностей для установки зубчатых колес: шейка 3(3'), уступ 5(5') и шпоночная канавка.

**Исполнительные** поверхности выполняют служебное назначение. У конструкции на рисунке исполнительной поверхностью является профиль зубчатого колеса.

**Свободной** поверхностью называется поверхность, не соприкасающаяся с поверхностями других деталей и предназначенная для соединения основных, вспомогательных и исполнительной поверхностей между собой с образованием необходимой для конструкции формы детали, например, поверхность шейки 4.

Одна из поверхностей может быть взята в качестве базы. По характеру своего назначения (при конструировании, изготовлении деталей, измерениях и сборке механизмов и машин) базы подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные.

**Конструкторские** базы бывают основные и вспомогательные. Основная база определяет положение самой детали или сборочной единицы в изделии, а вспомогательная база – положение присоединяемой детали или сборочной единицы относительно данной детали. Как правило, положение детали относительно других деталей, определяют комплектом из двух или трех баз. Так основными базами ступенчатого вала (см. рис. 8.1) являются ось валика 00 и уступ 1 или 1', а вспомогательными базами – поверхности крайних шеек 3 или 3' и уступ 5 или 5'.

**Технологической базой** называют поверхность, определяющую положение детали или сборочной единицы в процессе их изготовления.

**Измерительной базой** называют поверхность, определяющую относительное положение детали или сборочной единицы и средств измерения.

Как известно из теоретической механики, требуемое положение твердого тела относительно системы координат  $OXYZ$  может быть задано наложением на него шести двухсторонних связей, лишаящих тело трех перемещений вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и трех по-

воротов вокруг осей. Наложение двухсторонних связей достигается соприкосновением базирующихся поверхностей тела с базирующими поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением силового замыкания для обеспечения необходимого контакта. Поэтому базы, независимо от назначения, могут различаться по числу отнимаемых от базирваемой детали степеней свободы на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные.

**Установочной** называется база, лишаящая деталь (сборочную единицу) трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей (поверхность *I* на рис. 8.2).

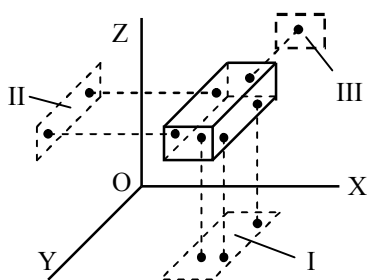


Рис. 8.2 – Установочная база

**Направляющей** называется база, лишаящая деталь или сборочную единицу двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (поверхность *II*: вдоль *Y* и вокруг *Z*).

**Опорной** называется база, лишаящая деталь одной степени свободы – перемещения вдоль одной оси (поверхность *III*).

**Двойная направляющая база** – это база, лишаящая деталь четырех степеней свободы – двух перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих же осей (поверхность *IV*) (рис. 8.3).

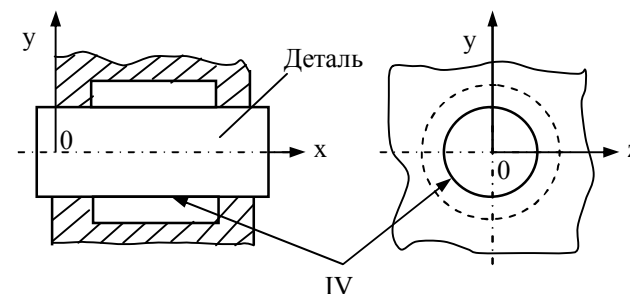


Рис. 8.3 - Двойная направляющая база

Бывает еще **двойная опорная база** – лишаящая деталь двух степеней свободы, то есть перемещения вдоль двух координатных осей: поверхность *V* (рис. 8.4).

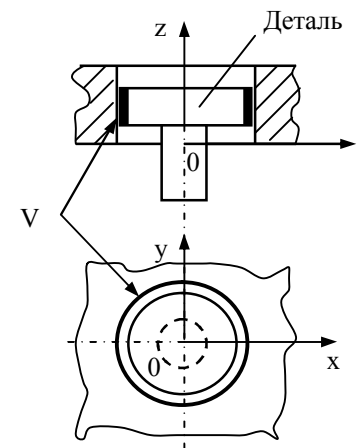


Рис. 8.4 - двойная опорная база

Для повышения точности изготовления деталей необходимо стремиться к тому, чтобы конструкторские и технологические базы представляли одни и те же поверхности. Если такого совпадения нет, то возникают погрешности базирования (измерения), что приводит к необходимости перерасчета допусков.

При обработке деталей для их ориентации могут быть использованы базы, состоящие из одной, двух или трех базирующих

щих поверхностей и несущие в общей сложности до шести опорных точек. Чем проще установочная база, тем меньше в нее входит базисуемых поверхностей и, следовательно, опорных точек, тем проще и дешевле приспособление для закрепления детали на станке. Поэтому при выборе базы необходимо стремиться использовать наименьшее количество базисуемых поверхностей с наименьшим числом опорных точек.

## 8.2 Схемы базирования

Схемы базирования зависят от формы обрабатываемых поверхностей, большинство которых ограничено плоскими, цилиндрическими или коническими поверхностями. Основными схемами являются:

1. Базирование призматических заготовок;
2. Базирование длинных цилиндрических заготовок;
3. Базирование коротких цилиндрических заготовок.

**Схема базирования призматических заготовок** предназначена для изготовления плит, крышек, картеров и др. Каждая обрабатываемая заготовка призматической формы, если ее рассматривать в системе трех координат (рис. 8.5) имеет шесть степеней свободы. Положение заготовки в пространстве определяется шестью координатами (штриховые линии), которые ограничивают перемещение заготовки по степеням свободы.

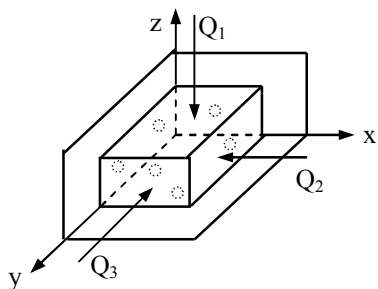


Рис. 8.5 - Схема базирования призматических заготовок

На рис. 8.5 приведена схема положения обрабатываемой заготовки в приспособлении, где силы зажима  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  образуют силовое замыкание базирования заготовки (штрихами показаны опорные точки). Нижняя поверхность заготовки с тремя опорными точками является установочной базой. Как правило, в качестве установочной базы выбирают поверхность наибольшего размера. Боковая поверхность с двумя опорными точками является направляющей базой, для которой выбирается поверхность наибольшей протяженности. Поверхность с одной опорной точкой является опорной базой.

Этот порядок установки заготовок призматической формы называют правилом шести точек. Это правило применяют и для базирования заготовок других форм, при использовании для их установки любых наружных поверхностей, выбранных для базирования.

**Схема базирования длинных цилиндрических заготовок (рис 8.6).**

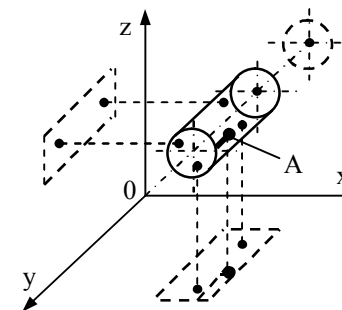


Рис. 8.6 - Базирование длинных цилиндрических заготовок

На рис. 8.6 видно, что расположение вала в пространстве определяется пятью координатами, которые лишают заготовку пяти степеней свободы перемещения в направлениях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и вращения вокруг осей  $X$  и  $Z$ . Шестая степень свободы, т.е. вращение вокруг собственной оси, в данном случае ограничивается координатой, проведенной от поверхности шпоночной канавки  $A$ .

Четыре опорные точки, расположенные на цилиндрической поверхности, образуют двойную направляющую базу. Опорная точка на торце валика и шпоночный паз определяют поверхности, служащие опорными базами.

На рис. 8.7 приведена схема положения обрабатываемой заготовки в призме приспособления, где торцевая поверхность вала, прижатая к ограничителю *A* приспособления, является опорной базой.

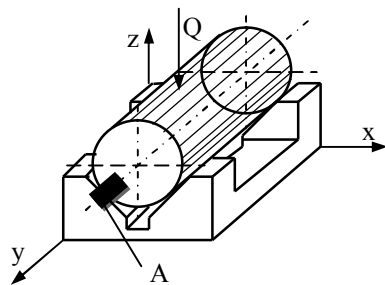


Рис. 8.7 - Положение заготовки в призме

### Схема базирования коротких цилиндрических заготовок

К коротким цилиндрическим деталям относятся диски, кольца и др. Установочной базой у этих деталей является торцевая поверхность с тремя опорными точками (рис. 8.8).

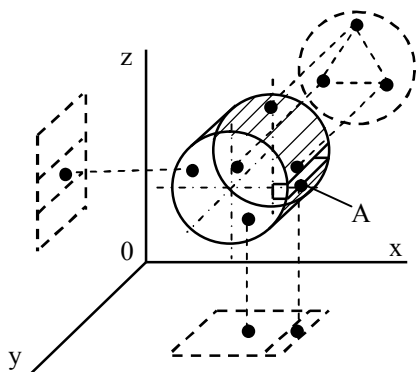


Рис. 8.8 - Базирование коротких цилиндрических заготовок

Две опорные точки на короткой цилиндрической поверхности образуют двойную опорную базу. Шестая степень свободы ограничена в данном случае шпоночным пазом *A*.

Рассмотренные схемы относятся к схемам полного базирования, то есть базирования с лишением обрабатываемой заготовки всех шести степеней свободы. Их применяют при необходимости получить точную координацию размеров в трех направлениях по осям *X*, *Y*, *Z*. Для базирования таких заготовок необходим комплект из трех баз. При необходимости получения размеров в двух или только в одном направлении можно применять схемы упрощенного базирования (рис. 8.9).

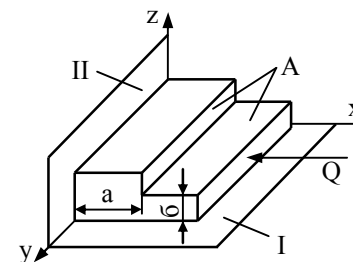


Рис. 8.9 – Упрощенная схема базирования заготовок

На рис. 8.9 показана заготовка с подлежащим обработке уступом *A*, положение которого определяется размерами *a* и *b*. Неточность установки заготовки относительно оси *Y* не имеет значения. Поэтому в данном случае достаточно использовать две базирующие поверхности *I* и *II*, а торец заготовки использовать как опорную (но не базирующую) поверхность, прилегающую к упору (на рис. не показан), который предусмотрен для восприятия продольной составляющей силы резания.

## ЛЕКЦИЯ 9

### Погрешности базирования и закрепления заготовок

Конструкторские базы назначаются конструктором изделия при простановке размеров на рабочем чертеже. На выбор той или иной схемы при простановке размеров влияют как конструкторские, так и технологические требования. Выбранная схема в значительной степени предопределяет последовательность обработки, выбор баз, конструкцию приспособления и т.д.

Выбирая схему простановки размеров, конструктор должен исходить из обеспечения принципа технологичности конструкции. Более технологичной является та конструкция, на изготовление которой затрачивается меньше времени, требуется более простое приспособление, а заданная точность достигается просто и надежно.

При обработке заготовки возникают отклонения геометрической формы и размеров, заданных чертежом, которые не должны выходить за пределы допусков, определяющих наибольшие допустимые погрешности. Суммарная погрешность складывается из первичных погрешностей: установки заготовки, настройки станка и самой обработки.

**Погрешность установки  $\varepsilon_y$**  возникает при установке заготовки на станке или в приспособлении. Она состоит из погрешности базирования  $\varepsilon_b$  и погрешности закрепления  $\varepsilon_z$ . (погрешности настройки станка и самой обработки пока не рассматриваем).

**Погрешность базирования  $\varepsilon_b$**  возникает в результате базирования заготовки в приспособлении по технологическим базам, не связанным с измерительными базами. При базировании по основной конструкторской базе, являющейся и технологической базой, погрешность базирования не возникает. Такие погрешности можно определять расчетом геометрических связей принятой схемы базирования.

**Погрешность закрепления  $\varepsilon_z$**  образуется из погрешностей, возникающих до приложения силы зажатия и при зажатии. При

работе на предварительно настроенных станках режущий инструмент, а также упоры и копиры устанавливаются на размер от установочных поверхностей приспособления до приложения нагрузки, поэтому сдвиг установочных баз приводит к погрешностям закрепления.  $\varepsilon_z$  определяют расчетным и опытным путем для каждого конкретного способа закрепления заготовок (значения их приводят в справочных таблицах).

Для приближенного определения допустимой погрешности базирования можно пользоваться формулой

$$\varepsilon_{b.\text{доп.}} \leq \delta - \Delta, \quad (9.1)$$

где  $\delta$  - допуск на размер;

$\Delta$  - погрешность размера (значения  $\Delta$  для всех видов обработки приводятся в таблицах справочников (ГОСТ 24643-81 – степень точности изготовления)).

Действительная погрешность базирования всегда должна быть меньше допустимой

$$\varepsilon_b \leq \varepsilon_{b.\text{доп.}} \quad (9.2)$$

Рассмотрим, как рассчитывают действительные погрешности базирования.

Установка на плоскость. Схема базирования обрабатываемой заготовки при фрезеровании с установкой на плоскость (рис.9.1).

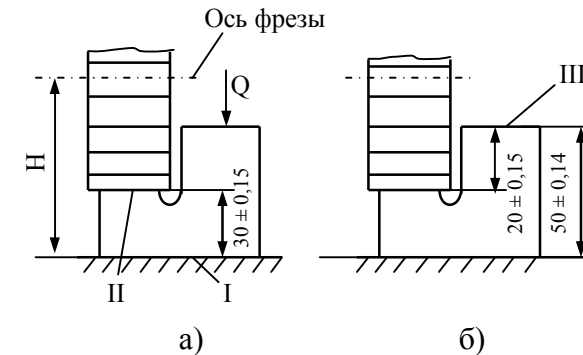


Рис. 9.1 - Базирование заготовки с установкой на плоскость

На рисунке 9.1а плоскость I является измерительной базой и используется как установочная база, поэтому погрешность базирования не входит в суммарную погрешность, возникающую при фрезеровании, в размер  $30 \pm 0,15$  мм.

На рисунке 9.1б измерительной базой является плоскость III, а установочной – плоскость I. Поэтому погрешность базирования неизбежна, т.к. при неизменном настроенном размере  $H$  размер обрабатываемой поверхности II колеблется в пределах допуска на размер 50 мм, полученный при обработке на предыдущей операции. Следовательно, погрешность базирования будет соответствовать допуску на этот размер или  $\varepsilon_{\delta} = 0,28$  мм.

Таким образом, при фрезеровании размера  $20 \pm 0,15$  мм на погрешность настройки и обработки остается  $0,3 - 0,28 = 0,02$  мм, что является недостаточным, поэтому необходимо или исключить погрешность базирования, или произвести перерасчет допусков, установленных чертежом.

Для уменьшения погрешностей базирования следует уменьшить допуск на размер 50 мм ( $\delta_{50}$ ), приняв  $\delta_{50} = \delta_{20} - \Delta$  (где для размера 20 мм  $\Delta = 0,1$  мм).

Тогда  $\delta_{50} = 0,30 - 0,1 = 0,2$  мм, т.е. размер 50 мм следует указать с допуском  $\pm 0,1$  мм, т.е.  $50 \pm 0,1$ .

**Схема установки заготовки по наружной цилиндрической поверхности на призму (рис.9.2).**

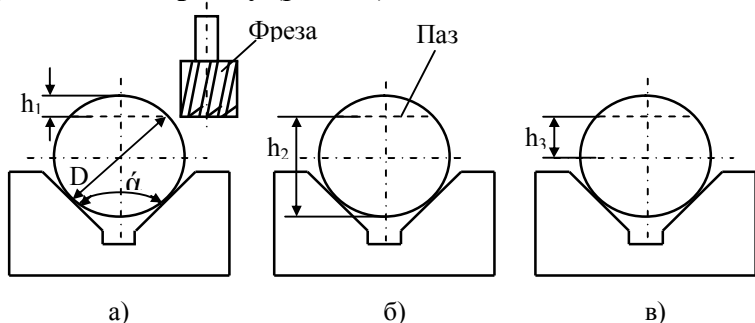


Рис. 9.2 - Установка заготовки по наружной цилиндрической поверхности на призму

На рисунке 9.2 приведены схемы установки вала диаметром  $D$  в призме при фрезеровании паза, размер которого задан от различных конструкторских баз. Во всех случаях погрешность базирования неизбежна и зависит от допуска  $\delta_D$  на диаметр вала и угла призмы  $\alpha$ .

Для расчета погрешностей базирования предположим, что на призме установлен вал с наибольшим диаметром  $D_{max}$  и наименьшим предельным диаметром  $D_{min}$ . (рис.9.3).

Величины  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$  и  $\Delta h_3$  будут характеризовать погрешности базирования для каждой схемы

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\delta_1} &= \Delta h_1 = \delta_D (1 + \sin \alpha / 2) / (2 \sin \alpha / 2) \\ \varepsilon_{\delta_2} &= \Delta h_2 = \delta_D (1 - \sin \alpha / 2) / (2 \sin \alpha / 2) \\ \varepsilon_{\delta_3} &= \Delta h_3 = \delta_D / (2 \sin \alpha / 2) \end{aligned} \right\} (9.3)$$

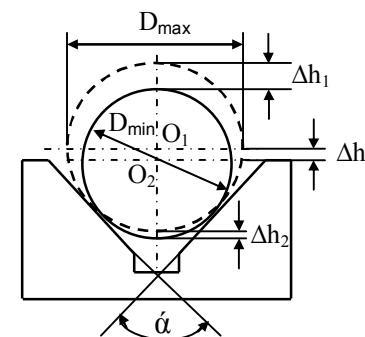


Рис.9.3 – Схема расчета погрешности базирования

Обозначив в правой части каждого уравнения выражения, не содержащие  $\delta_D$ , соответственно коэффициентами  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$ , получим

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\delta_1} &= \Delta h_1 = k_1 \delta_D ; \\ \varepsilon_{\delta_2} &= \Delta h_2 = k_2 \delta_D ; \\ \varepsilon_{\delta_3} &= \Delta h_3 = k_3 \delta_D . \end{aligned} \right\} (9.4)$$

В зависимости от угла  $\alpha$  призмы коэффициенты  $k_1, k_2, k_3$  имеют следующие значения

$\alpha$	60°	90°	120°	180°
$k_1$	1,5	1,21	1,07	1,0
$k_2$	0,5	0,2	0,08	-
$k_3$	1,0	0,7	0,58	0,5

Например, при угле призмы 90° погрешности базирования составляют

$$\varepsilon_{\delta_1} = 1,21 \delta_D ; \varepsilon_{\delta_2} = 0,2 \delta_D ; \varepsilon_{\delta_3} = 0,7 \delta_D .$$

Каждая деталь имеет комплект черновых и обработанных поверхностей, для взаимной увязки которых необходимо строго выполнять основные положения выбора баз. Основной предпосылкой увязки комплектов черновых и обработанных поверхностей является условие выбора черновой установочной базы. Такими базами могут служить поверхность или совокупность поверхностей, относительно которых при первой операции обрабатывают поверхности, используемые при последующих операциях в качестве базирующих. Таким образом, черновая база всегда должна использоваться для обработки установочных баз.

Не следует принимать за черновые базы поверхности разъема, а также неровные поверхности со следами от прибылей, литников и другими дефектами.

Чистовые базы следует выбирать так, чтобы чистовые установочные базы были конструкторскими. Это исключает погрешности базирования, чистовые базы должны иметь наибольшую точность формы и размеров и малую шероховатость поверхности. Установочные базы должны обладать наибольшей устойчивостью при базировании и обеспечивать наименьшие деформации заготовки от прижатия и силы резания. Следует стремиться, чтобы обработку поверхностей на всех операциях (установках) осуществлять с использованием одних и тех же установочных баз. Это требование называется принципом постоянства баз.

## Тема 7 ЗАГОТОВКИ ЛЕКЦИЯ 10

Одним из основных направлений развития технологии механической обработки является использование черновых заготовок с экономичными конструктивными формами, обеспечивающими возможность применения наиболее оптимальных способов их обработки, т.е. с наибольшей производительностью и наименьшими отходами. Это направление заключается в повышении точности заготовок и приближении их конструктивных форм и размеров к готовым деталям, что позволяет соответственно сократить объем обработки резанием, ограничивая ее в ряде случаев чистовыми, отделочными операциями.

Правильный выбор заготовки – установление ее формы, размеров припусков на обработку, точности размеров и твердости материала, т.е. параметров, зависящих от способа ее изготовления, - сильно влияет на число операций или переходов, трудоемкость и в итоге на себестоимость процесса изготовления детали.

Следует иметь в виду, что получение заготовки, приближающейся по форме и размерам к готовой детали, процесс трудоемкий, приводящий к тому, что значительная доля трудозатрат по изготовлению деталей приходится на заготовительные цеха, снижая трудозатраты в механических цехах. Такое направление целесообразно, как правило, массовому и крупносерийному производству, т.к. дорогостоящее современное оборудование заготовительных цехов, обеспечивающее высокопроизводительные процессы получения точных заготовок, экономически оправдано лишь при большом объеме выпуска изделий.

Для единичного и мелкосерийного производства, когда применение дорогого заготовительного оборудования неэкономично, может оказаться, что целесообразнее получение грубой заготовки с большими припусками, когда на механические цеха приходится основная доля трудоемкости и себестоимости изготовления детали.

### 10.1 Виды и способы изготовления заготовок

Основными видами заготовок, в зависимости от назначения деталей, являются:

- отливки из черных и цветных металлов;
- заготовки из металлокерамики;
- кованные и штампованные заготовки;
- заготовки, штампованные из листового металла;
- заготовки из проката;
- заготовки сварные;
- заготовки из неметаллических материалов.

**Отливки** выполняются в открытые земляные формы или закрытые формы. В серийном и массовом производстве применяют машинную формовку по деревянным или металлическим моделям. Отливки сложной конфигурации изготавливают в формах, которые собирают из стержней по шаблонам и кондукторам.

В качестве материала формы может быть металл (литье в кокили). Этот способ исключает процесс формовки, обеспечивает благоприятные условия охлаждения, а также простоту удаления отливок из формы. Хорошие результаты дают способы центробежного литья (тел вращения – втулок, труб и т.д.) и способ литья под давлением, который повышает прочность отливок на 30%. Последний способ позволяет автоматизировать литье небольших деталей сложной формы.

Заготовки из **металлокерамики** изготавливают из порошков различных металлов или из смеси их с порошками, например, графита, кремнезема, асбеста и др. Этот вид заготовок применяют для производства деталей, которые не могут быть изготовлены другими методами – из тугоплавких элементов (вольфрам, молибден, магнитных материалов и пр.), из металлов, не образующих сплавов или металл – неметалл (медь – графит), и из пористых материалов. Способ получения основан на прессовании тонких металлических порошков в требуемой пропорции в пресс-формах под давлением 100 ... 600 МПа и последующем



спекании при температуре немного ниже температуры плавления основного компонента (порошковая металлургия).

Промышленность выпускает различные металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, ниобиевый, титановый и др. Основой изготовления металлокерамических твердых сплавов являются порошки карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC). В качестве связующего материала применяют кобальт. Процентное соотношение указанных материалов выбирают в зависимости от их назначения.

**Кованые и штампованные заготовки** получают в единичном или мелкосерийном производстве с применением ковочных молотов и гидроковочных прессов. Такие заготовки характеризуются сравнительно грубым приближением к форме готовой детали и требуют в последующем значительную механическую обработку. Для большего приближения формы заготовки к форме готовой детали применяют подкладные штампы. Заготовку, предварительно выполненную свободной ковкой с помощью универсального кузнечного инструмента, помещают в подкладной штамп, где она принимает форму, более близкую к форме готовой детали.

**Штамповкой заготовок из листового металла** можно получить изделия простой и сложной конфигурации: шайбы, втулки, сепараторы подшипников качения, баки, кабины автомобилей и т.д.

Штамповка может быть горячей и холодной. В первом случае заготовки толщиной 8-10 мм приобретают большую пластичность. Все операции листовой штамповки можно разделить на разделительные (отрезка, вырубка, пробивка, чистка), в ходе которых одну часть заготовки отделяют от другой, и формоизменяющие (гибка, вытяжка, обжим, отбортовка, рельефная формовка, формовка), в которых одна часть заготовки перемещается относительно другой без разрушения заготовки (в пределах пластической деформации).

**Заготовки из круглого проката** для валов, в большинстве случаев, более целесообразны, чем кованые или штампованные заготовки.

Применение **периодического проката**, т.е. проката с максимальным подобием заготовки и детали обеспечивает повышение коэффициента использования металла при штамповке в среднем на 10-15% благодаря сокращению потерь на облой.

Из готового профильного проката заготовки изготавливают преимущественно в массовом производстве. Во многих случаях этот способ не требует применения механической обработки или ограничивает ее отделочными операциями.

**Сварные заготовки** позволяют получать изделия такой конфигурации, которая обычно получается в результате литья или обработки резанием, но дешевле. Применяют штампосварные и сварно-литые заготовки для корпусных деталей сложных конструктивных форм, размеров, массы и материалов. При этом заготовку делят на ряд простейших частей, получаемых штамповкой или литьем, а затем соединяют их сваркой.

**Заготовки из неметаллических материалов.** К таковым относятся: пластические массы, древесина, резина, бумага, асбест, текстиль, кожа и др. Эти материалы, обеспечивая необходимую прочность при небольшой массе изготавливаемых из них деталей, придают деталям необходимые свойства: химическую устойчивость (к растворителям), водо-, газо- и паронепроницаемость, высокие изоляционные свойства и др.

Пластмассами называют материалы, основу которых составляют природные или синтетические высокомолекулярные соединения, содержащие или не содержащие дисперсные или коротковолокнистые наполнители, пигменты и иные сыпучие компоненты.

Простые пластмассы - это полимеры без добавок. К ним, например, относятся полиэтилен, полистирол. Сложные пластмассы - это полимеры с различными добавками (наполнителями, пластификаторами, стабилизаторами, отвердителями, красите-

лями и др.).

Наполнители (порошкообразные, кристаллические, волокнистые листовые, газообразные и т.п.) в основном определяют свойства пластмасс - их прочность, интервал рабочих температур, коэффициент трения и др. Они располагаются в полимерной матрице (дисперсионной среде) и не образуют непрерывной фазы. Физически пластмассы с наполнителями представляют собой гетерофазные материалы с изотропными (одинаковыми во всех направлениях) физическими макросвойствами. Наполнители в пластмассы вводят в количестве 40-70%.

Пластификаторы - это вещества, повышающие пластичность, морозостойкость и облегчающие обработку пластмасс, например стеарин, олеиновая кислота, дибутилфталат. Содержание пластификатора в составе колеблется в пределах 10-20%.

Стабилизаторы - вещества, добавляемые в пластмассу для повышения стабильности свойств при длительном хранении и эксплуатации изделий.

Отвердители - вещества, способствующие переходу некоторых видов пластмасс в химически необратимое термостабильное состояние. Их вводят в состав в количестве нескольких процентов.

Примерно 90% общего производства пластмасс приходится на следующие группы: полиэтилены низкой и высокой плотности, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и сополимеры стирола, полиакрилаты, полиацетаты, полиамиды, простые и сложные полиэферы, и кремнийорганические полимеры.

Кроме твердофазных существуют газофазные наполнители. Газонаполненные пластмассы представляют собой гетерогенные системы, состоящие из твердой фазы - связующего, и газообразной фазы - наполнителя.

В зависимости от макроструктуры газонаполненные пластмассы делятся на пенопласты и поропласты. В пенопластах полимерная основа образует систему замкнутых изолированных ячеек, заполненных газом. Это жесткие материалы с плотностью

20-300 кг/м<sup>3</sup>. Замкнутая ячеистая структура придает им хорошую плавучесть и высокие теплоизоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности низкий - от 0,003-0,007 Вт/Дм К).

В поропластах полимерная основа образует систему ячеек с частично разрушенными перегородками, которые сообщаются между собой. Газообразная фаза в такой системе может циркулировать. Эти материалы эластичны, их плотность составляет 25-45 кг/м<sup>3</sup>. Получают поропласты, вводя в состав композиций вещества, способные выкипать при нагреве или вымываться водой, что и приводит к образованию пор. Поропласты отличаются высокой способностью поглощать звуки (70-80%) на технических частотах.

Пластмассы, в зависимости от химико-физических свойств мономеров бывают:

-термореактивными, т.е. раз подвергшись формованию при повышенной температуре, они превращаются в неплавкие и практически нерастворимые продукты;

-термопластичные, отличаются тем, что при нагревании они размягчаются, сохраняя плавкость, растворимость и способность к повторному формованию.

Термореактивные полимеры (реактопласты) состоят из макромолекул, соединенных поперечными ковалентными, т.е. химическими, связями. Такая сетчатая химическая структура необратима. Нагревание сетчатых полимеров приводит не к расплавлению, а к разрушению пространственной сетки, сопровождающемуся деструкцией. С практической точки зрения это означает, что реактопласты допускают лишь однократную переработку в изделия, которые формируются в результате химической реакции отверждения. Технологические и иные отходы производства практически не рециклируются.

Термопластичные полимеры (термопласты) состоят из макромолекул, соединенных между собой только физическими связями. При нагревании до температуры плавления физические связи исчезают, а химические - ковалентные - сохраняются и,

следовательно, сохраняется неизменным химическое строение полимера. При охлаждении и затвердевании такого расплава физические связи и основные физические свойства вещества восстанавливаются.

Таким образом, термопласты, во-первых, допускают формирование изделий из расплава с его последующим охлаждением и затвердеванием и, во-вторых, могут перерабатываться многократно. Это, в свою очередь, позволяет возвращать в производственный цикл отходы производства, изделия, утратившие потребительскую ценность, брак.

Древесина различных пород применяется во многих отраслях машиностроения, например, в сельскохозяйственном машиностроении, химической промышленности (чаны). Из твердых пород изготавливают ответственные детали, подвергающиеся большим нагрузкам. Древесные материалы применяются как конструкционные материалы главным образом в виде шпона, клееной фанеры, цельнопрессованной древесины и древесных пластиков.

Механическую обработку изделий из древесины производят на металлорежущих и деревообрабатывающих станках.

## 10.2 Основные требования к заготовкам

При выборе заготовок (отливка, штамповка, прокат и др.) учитывают форму, размеры и массу детали, материал (в зависимости от условий эксплуатации), объем производства, периодичность повторения, размеры припусков на обработку и точность размеров (допуски).

Материал обычно задается конструктором и обозначается на рабочем чертеже. Вид заготовки, форму и размеры определяют исходя из условий экономичности обработки и простоты. Правильный выбор заготовок, если по техническим условиям применимы различные их виды, можно осуществлять только на основе технико-экономических расчетов путем сопоставления тех-

нологической себестоимости детали из того или другого вида заготовки.

Основным показателем, характеризующим экономичность выбранного метода изготовления заготовок, является коэффициент использования материала

$$K_{и.м.} = m / \sum m_m, \quad (10.1)$$

где  $m$  – масса изделия;

$m_m$  – масса материала, израсходованного на изготовление составной части изделия (покупные изделия не учитываются).

Технологические требования к заготовкам обусловлены необходимостью соблюдать технические условия на припуски, шероховатость поверхностей, твердость и обрабатываемость. Поверхности, используемые как технологические базы при механической обработке должны быть равными и гладкими, без литников, прибылей, литейных и штамповочных уклонов и заусенцев.

Дефекты заготовок выявляют при осмотре черных или предварительно обработанных поверхностей. Все выявленные дефекты или отклонения от требований должны быть устранены соответствующими методами. Кроме визуального выявления дефектов у заготовок применяют и другие виды контроля, указанные в технических условиях. Они могут вызвать частичное или полное разрушение образца из партии, могут проводиться без разрушения с применением рентгено- и магнитной дефектоскопии, ультразвука, гамма-лучей и др. В ряде случаев производятся механические испытания и металлографические исследования.

В большинстве случаев проводят предварительную обработку заготовок. Правку применяют для устранения искривления заготовки в горячем или холодном виде; для этого применяют молоток, правильно-калибровочный станок, гидравлические или ручные винтовые прессы.

Разрезка перед запуском в производство проводится для проката: прутков, бухт, листового материала или полос. Листовой

или широкополосный материал режут на так называемые карты, размеры которых соотносят с размерами готовых деталей. Оптимальный раскрой материала предусматривает размещение на картах конфигураций заготовок с минимальными перемычками и с учетом способа дальнейшей обработки. Для этого применяют прессножницы (до 25 мм), гильотинные и дисковые ножницы (до 40 мм). Для более толстых заготовок применяют газовую резку (от 5 до 100 мм), кислородно-флюсовую и плазменную резку (до 450 мм). Применяются фрикционные диски.

Предварительная обработка литых и кованных заготовок предусматривает удаление окалины, заусенцев, пригара, литников, прибылей и напусков. Очистку проводят на обдирочно-шлифовальных станках, переносными шлифовальными машинами, проволочными вращающимися щетками или в дробеструйных камерах. Применяется также струя рабочей жидкости (смесь кальцинированной соды, абразива и воды).

## ЛЕКЦИЯ 11

### Припуски на обработку

**Припуском на обработку** называется слой металла, подлежащий удалению с поверхности заготовки в процессе обработки для получения готовой детали. Размер припуска определяется разностью между размером заготовки и размером детали по рабочему чертежу; припуск задается на сторону.

Припуски подразделяют на **общие**, удаляемые в течение всего процесса обработки данной поверхности, и **межоперационные**, удаляемые при выполнении отдельных операций. Если общий припуск на обработку  $Z_0$ , размер заготовки  $a_з$  и размер готовой детали  $a_д$ , то для (рис. 11.1):

$$\text{наружных поверхностей } Z_0 = a_з - a_д ;$$

$$\text{внутренних поверхностей } Z_0 = a_д - a_з . \quad (11.1)$$

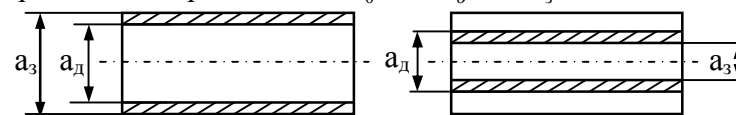


Рис. 11.1 – Припуск на обработку

Межоперационный припуск определяется разностью размеров, полученных на предыдущей и последующей операции.

Если обозначить припуск на данной операции  $Z_m$ , то общий припуск на обработку равен сумме межоперационных припусков по всем технологическим операциям

$$Z_0 = \sum Z_m . \quad (11.2)$$

Размер припуска зависит от ряда факторов. Это может быть толщина поврежденного поверхностного слоя, т.е. толщина корки для литых заготовок, обезуглероженный слой для проката, глубины поверхностных неровностей, раковин, трещин, а также от неизбежных производственных и технологических погрешностей, которые являются совокупностью погрешностей заготовки и погрешностей, возникающих при выполнении отдельных опе-

раций. Для компенсации этих погрешностей необходимо предусматривать припуск, размер которого обеспечит соответствующее качество данной заготовки на последней операции обработки.

Производственные погрешности характеризуются отклонениями размеров, геометрическими нарушениями формы и отклонениями взаимосвязанных поверхностей, поверхностными микронеровностями, глубиной дефектного поверхностного слоя, погрешностями установки.

Исходя из сказанного, наименьший межоперационный припуск на обработку при наименьшем предельном размере заготовки для наружных поверхностей и при наибольшем предельном размере для внутренних поверхностей может быть определен из формулы

$$J_i = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}, \quad (11.3)$$

где  $R_{Z_{i-1}}$  - средняя высота микронеровностей;

$T_{i-1}$  - глубина дефектного поверхностного слоя;

$\rho_{i-1}$  - геометрическая сумма пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей;

$\varepsilon_{yi}$  - погрешность установки;

$i-1$  - индекс, характеризующий предшествующую операцию;

$i$  - индекс данной операции.

Отсюда выходит, что в межоперационный припуск входят погрешности предшествующей операции и погрешности установки данной операции.

Влияние размера припуска на экономичность процесса обработки очень велико, т.к. чем ближе припуск, тем больше число ходов требуется для снятия соответствующего слоя металла, что приводит к повышению трудоемкости процесса, расхода электроэнергии, износу режущего инструмента и увеличению отходов металла.

Чтобы обеспечить постоянные межоперационные припуски на каждой из операций, размер обрабатываемой поверхности

должен находиться в определенных пределах, характеризующих межоперационный допуск. Общий припуск на обработку складывается из суммы наименьших межоперационных припусков и межоперационных допусков без допуска на последнюю операцию (рис.11.2). Допуск на последнюю операцию должен соответствовать допуску на окончательную обработку данной поверхности.

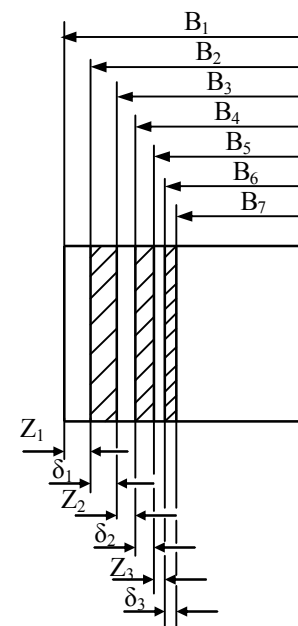


Рис. 11.2 – Межоперационные припуски и допуски

Здесь  $B_1$  – размер заготовки;  $B_2$  и  $B_3$  – наибольший и наименьший предельные размеры заготовки после первой операции;  $B_4$  и  $B_5$  – то же после второй операции;  $B_6$  и  $B_7$  – то же после третьей операции.

В итоге общий припуск по всем операциям при обработке данной заготовки будет равен

$$Z_0 = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \delta_1 + \delta_2. \quad (11.4)$$

Допуск на последнюю операцию  $\delta_3$  не учитываем.

Тема 8 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ И ДЕТАЛЕЙ  
ЛЕКЦИЯ 12

12.1 Обработка наружных поверхностей тел вращения

Поверхности тел вращения представляют собой наиболее распространенный вид обрабатываемых поверхностей заготовок, торцы которых подрезают или фрезеруют, а если по техпроцессу предусмотрена дальнейшая обработка в центрах, их центрируют. Центровые отверстия являются, как правило, установочными базами, и поэтому от точности исполнения их зависит и точность обработки остальных поверхностей заготовки. Для центрирования применяют типовые наборы инструмента – спиральные сверла и конические заготовки. Обрабатывают на токарных, револьверных, сверлильных и двухсторонних центровальных станках. В качестве технологических баз на этой операции используют наружные поверхности заготовки, устанавливаемой в призмы.

Наибольший удельный вес при обработке наружных поверхностей вращения имеет обработка на станках токарно-револьверной группы, которые составляют 25-50% от общего станочного парка машиностроительного завода. Наружные поверхности тел вращения на токарных станках обрабатываются при продольном перемещивании суппорта с режущим инструментом (рис. 12.1а).

Фасонное обтачивание, т.е. обработку поверхностей сложной конфигурации (сферических, ступенчатых, конических и др.), осуществляют при одновременном перемещении режущего инструмента в продольном и поперечном направлениях (рис. 12.1б).

Фасонное обтачивание по копиру, контур которого соответствует контуру обрабатываемой заготовки, значительно упрощает обработку (рис. 12.1в).

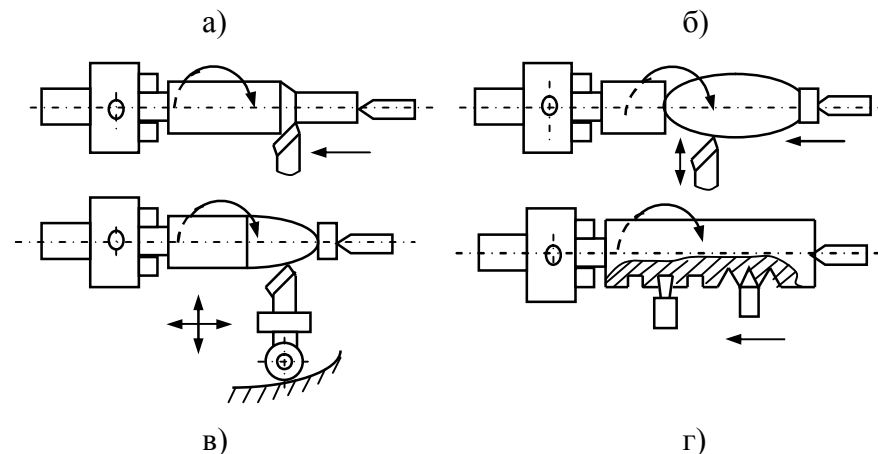


Рис. 12.1 – Обработка наружных поверхностей

Нарезание резьбы: на современных токарных станках можно нарезать метрические, дюймовые и другие резьбы, а также многозаходные резьбы разных профилей (рис. 12.1г).

Токарная обработка состоит из черновых (обдирочных) и чистовых операций. В ряде случаев применяют также получистовую и отделочную (тонкую) обработку. При черновых операциях, связанных со снятием большей части припуска, получается грубая поверхность с шероховатостью  $R_z = 40 \text{ мкм}$ . Получистовое точение позволяет улучшить шероховатость обрабатываемой поверхности до  $R_a = 6,3 \text{ мкм}$ , при этом достигается более высокая точность обработки. При чистовых операциях заготовке придают окончательную форму в пределах точности по 8...11 квалитетам и шероховатости поверхности  $R_a = 1,6...6,3 \text{ мкм}$ . Тонкое точение может заменить шлифование, являясь, таким образом, отделочной операцией. Оно позволяет получить шероховатость обработанной поверхности  $R_a = 0,4 \text{ мкм}$ .

Простейшей формой фасонного обтачивания является обработка конической поверхности. Узкие конические поверхности, например, фаски, обрабатывают установкой прямолинейной режущей кромки резца на заданный угол. Конус можно обработать

также при повороте верхних салазок суппорта на заданный угол.

В крупносерийном и массовом производстве широко применяют различные токарные полуавтоматы и автоматы. Основными технологическими схемами обработки на этих станках являются:

1) **параллельная** – при обработке каждого изделия в каждой позиции участвует несколько инструментов, работающих одновременно, начало и окончание работы отдельных инструментов могут не совпадать, но необходимо, чтобы в течение некоторого времени все инструменты работали одновременно;

2) **последовательная** – в обработке каждого изделия участвует несколько инструментов, вступающих в действие один за другим, начало работы следующего инструмента наступает только после окончания работы предыдущего;

3) **параллельно-последовательная** – в обработке каждого изделия участвует несколько групп инструментов, в группах инструменты работают параллельно, а сами группы инструментов – последовательно;

4) **ротационная** – в обработке каждого изделия участвует один или группа инструментов при одновременном ротационном движении заготовок и инструментов, каждая деталь обрабатывается инструментами, которые не участвуют в обработке других деталей;

5) **непрерывная** – в обработке каждого изделия участвует один или несколько инструментов при непрерывающейся подаче заготовок.

Каждая схема имеет преимущества и недостатки, поэтому достоинства их определяются формой и размерами обрабатываемых заготовок. На основе этих признаков токарные полуавтоматы и автоматы подразделяются на следующие виды: автоматы фасонно-отрезные и фасонно-продольного точения; токарно-револьверные автоматы; токарно-одношпиндельные автоматы; токарные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы; копировальные автоматизированные станки.

## 12.2 Обработка шлифованием

**Шлифование** – это вид обработки, с помощью абразивного инструмента, режущим элементом которого являются зерна абразивных материалов. При этом достигается высокая точность и малая шероховатость обрабатываемых поверхностей. Режущим инструментом являются шлифовальные абразивные круги, которые состоят из мелких зерен абразивных материалов, цементированных связующим веществом – связкой. Твердость абразивных материалов значительно выше твердости закаленной стали.

Для изготовления абразивного инструмента применяют природные и искусственные материалы. Природные – алмаз, корунд, гранит, кварц, полевой шпат, пемза и др.; искусственные – электрокорунд, карбиды кремния, бора, циркония, кубический нитрид бора (эльбор), синтетический алмаз и др.

Шлифовальные круги в основном изготавливают из искусственных шлифовальных материалов. Они более однородны и чисты по составу, а также дешевле природных.

Для кругов применяют шесть видов связок: керамическую, бакелитовую, вулканитовую, силикатную глифталевую и металлическую. В машиностроении наиболее распространена **керамическая связка**. Ее изготавливают из огнеупорной глины, полевого шпата и кварца.

**Бакелитовая** (органическая) – синтетическая смола. Круги на этой связке прочны и упруги, но плохо переносят воздействие охлаждающей жидкости.

**Вулканитовая** связка состоит из каучука и серы. Круги на вулканитовой связке прочны и водостойки, позволяют работать с большой скоростью, но сравнительно быстро засаливаются.

**Силикатная** связка предназначена для кругов, работающих без охлаждения. Эти круги водо- и щелочестойчивы.

**Глифталевая** связка применяется для волокнистых упругих кругов при тонком и отделочном шлифовании деталей из закаленных сталей.

**Металлическая** связка бывает вольфрамокобальтовая, железоникелевая, медно-оловянная и применяется для алмазных кругов. Круги обладают большой износостойкостью и производительностью и позволяют работать при более высокой температуре.

Важнейшим параметром, определяющим режущие свойства шлифовального круга, является его зернистость. Она определяется размерами сторон ячеек контрольных сит, применяемых для анализа зернистых абразивных материалов. Так, например, номер зернистости 16 означает, что абразивные зерна проходят через сито с ячейками размерами сторон 200 мкм и не проходят через сито с ячейками в 160 мкм.

Твердость шлифовального круга характеризуется силой, которую нужно приложить к зерну, чтобы вырвать его из связки. Чем больше эта сила, тем тверже круг. Мягкие круги быстро изнашиваются, а слишком твердые быстро забиваются снимаемой стружкой (засаливание) и вследствие этого сильно нагревают обрабатываемую заготовку. Поэтому твердые стали шлифуют мягкими кругами, т.к. их затупившиеся зерна легко вырываются из связки, обнажая нижележащие зерна с острыми кромками – круг как бы самозатачивается.

Наоборот, при шлифовании мягкой стали применяют твердые круги, т.к. стойкость их выше. Для шлифования меди и латуни применяют мягкие крупнозернистые круги.

По твердости круги разделены на классы: мягкий (*M*), среднемягкий (*CM*), средний (*C*), среднетвердый (*CT*), твердый (*T*), весьма твердый (*BT*) и чрезвычайно твердый (*CT*).

По форме абразивные круги бывают (рис. 12.2) плоскими «а», чашечными коническими «б» и цилиндрическими «в», тарельчатыми «г» и дисковыми «д».

Для шлифования резьбы применяют специальные профильные круги. Есть специальные таблицы для выбора шлифовальных кругов в зависимости от материала и поверхности обрабатываемой детали.

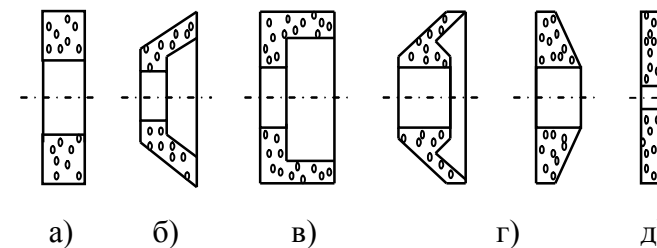


Рис. 12.2 – Формы абразивных кругов

Шлифовальные круги подвергаются правке для восстановления режущей способности, потерянной в результате засаливания и затупления, исправления геометрической формы изношенного круга.

Шлифовальные станки подразделяют на станки для круглого шлифования (центровые и бесцентровые), плоского шлифования и для доводочно-притирочных работ. Последние в свою очередь подразделяют на три группы в зависимости от применяемых абразивных материалов: работающие шлифовальным кругом, порошком и полировочной пастой.

Все больше применяется шлифование абразивными лентами. Достоинствами этого (метода) способа являются:

- 1) уменьшение тепловыделения, что повышает стойкость абразивной ленты и почти полностью исключает коробление обрабатываемых деталей;
- 2) более однородная поверхность абразивной ленты по сравнению с поверхностью шлифовального круга благодаря равномерному нанесению зерен и вертикальному их расположению на поверхности ленты, получаемой методом осаждения в электростатическом поле;
- 3) повышенное число режущих зерен на единицу поверхности по сравнению со шлифовальным кругом, что способствует повышению производительности;
- 4) отсутствие вибраций и ударной нагрузки, что обеспечивает более высокое качество обработанной поверхности.



Абразивными лентами можно обрабатывать черные и цветные металлы, а также неметаллические материалы. Абразивные ленты изготавливают из ткани, например, саржи или бумаги, на поверхность которой наносят с помощью клея слоя абразивных зерен: нормальный и белый электрокорунд для обработки стали, ковкого чугуна и бронзы, и карбид кремния для обработки серого чугуна, латуни и алюминиевых сплавов. Толщина ленты (со слоем абразива) обычно не превышает 2 мм. Ширину ленты выбирают в зависимости от длины обрабатываемой поверхности, в частности при шлифовании поверхностей тел вращения ширину ленты принимают равной длине заготовки. В практике применяют абразивные ленты шириной от 10 до 3000 мм и длиной от 500 до 7000 мм.

При шлифовании абразивной лентой в качестве смазывающих и охлаждающих средств применяют минеральные масла, керосин, эмульсии, а также жировые пасты.

## ЛЕКЦИЯ 13

### 13.1 Приспособления для токарных и шлифовальных работ

Наиболее широко распространенными приспособлениями для токарных и шлифовальных работ являются центры, кулачковые и цанговые патроны, которые применяются и при других работах (например, сверлильных).

На рис. 13.1 показаны конструкции центров токарного станка:

- а) нормальные;
- б) со сферическим концом, применяемые при смещении осевой линии заготовки относительно линии центров станка;
- в) полуцентры, позволяющие совмещать наружное продольное точение и подрезку торцов.

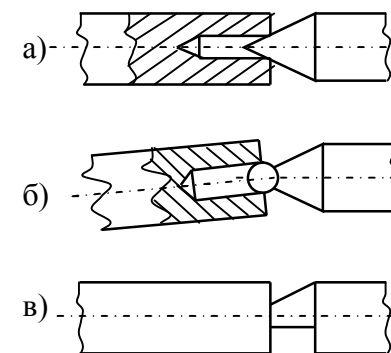


Рис. 13.1 - Конструкции центров токарного станка

Из-за нагрева в процессе резания, вызывающего удлинение обрабатываемой заготовки, изменяется сила зажима. Чтобы зажимная сила была постоянна в задней бабке располагают компенсаторы различных конструкций: пружинные, пневматические и гидравлические, которые позволяют несколько смещать пиноль при нагреве заготовки. Такие компенсаторы обычно используют при закреплении заготовки во вращающихся центрах.

Чтобы предотвратить прогиб нежестких заготовок валов, в качестве дополнительных опор, применяют люнеты подвижного или неподвижного типа. Это довольно сложное устройство должно воспринимать биение из-за овальности и неодинаковой толщины различных участков обрабатываемой заготовки.

Наиболее распространенными устройствами передачи крутящего момента обрабатываемым заготовкам на шпинделе передней бабки являются поводковые устройства: хомутики, скобы, поводковые оправки, поводковые планшайбы, поводковые патроны, кулачковые патроны, цанговые зажимные устройства.

### 13.2 Отделочные виды обработки

**Притирка.** Для притирки применяют притиры, изготовленные из чугуна, цветных металлов и сплавов, пластмасс, зеркального стекла и др.

К основным притирочным материалам относятся порошки корунда, электрокорунда, карбида кремния, окиси хрома, алмазы и карбида бора. Размеры абразивных частиц влияют на съем металла и шероховатость поверхности в процессе притирки и доводки.

Притирку проводят: свободным абразивом, внедряющимся в процессе обработки в поверхность притира в результате трения с некоторым давлением обрабатываемой поверхности и поверхности притира; предварительно внедренным в поверхность притира абразивом; свободным невнедряющимся абразивом. При применении относительно мягкого абразивного материала (например, венской извести, оксида хрома и др.), пастами (например, ГОИ) в среде керосина для снятия оксидов с обрабатываемой поверхности. В качестве смазывающей жидкости применяют керосин и машинное масло.

Обычно применяют притирочные станки и детали притираются между притирочными дисками. При работе станка заготовки, помещенные между дисками, совершают сложное движение: примерная относительная траектория.

Наряду с машинной применяют и ручную притирку (например, при обработке парных сопрягаемых деталей). В этом случае сопряженные поверхности двух деталей взаимно притирают одну к другой.

Припуски для притирки поверхностей тел вращения составляют 0,05-0,1 мм по диаметру. Притирка обеспечивает получение точности размеров по пятому качеству и шероховатости  $R_a = 0,05$  мкм.

**Хонингование** (шлифование брусками). Этот вид обработки применяют преимущественно для отделки отверстий, но иногда и при обработке наружных поверхностей тел вращения, в частности, шеек коленчатых валов.

Имеются специальные хонинговальные устройства с укрепленными абразивными брусками; хонингование идет при вращающейся заготовке.

Применяют бруски из карбида кремния зернистостью 12...30, охлаждающую жидкость – водно-мыльные растворы или керосин.

**Тонкая доводка (суперфиниш)** предназначена для обработки поверхности любых форм и в отличие от хонингования допускает только небольшие припуски, но наряду с достижением весьма малой шероховатости поверхности не может обеспечить исправление геометрической формы поверхностей.

Доводку осуществляют абразивным бруском, совершающим возвратно-поступательные движения с большой частотой (200-1000 в минуту) и малой амплитудой (ход брусков 2-6 мм) по поверхности вращающейся заготовки при скорости резания 0,05-2,5 мм/с. В результате движения бруска по обрабатываемой поверхности гребешки неровностей срезаются и поверхность становится более гладкой и ровной. В качестве охлаждающей жидкости применяют смесь керосина и веретенного или турбинного масла.

## Тема 9 ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ЛЕКЦИЯ 14

В зависимости от назначения отверстий к ним могут предъявляться следующие требования: выдерживание размера отверстия по диаметру с заданной точностью, прямолинейность оси отверстия и образующей его поверхности, правильность цилиндрической формы отверстия (отсутствие конусности, овальности), перпендикулярность оси торцевым поверхностям детали.

Обработка отверстий круглого сечения производится на сверлильных, расточных, токарных, карусельных, токарно-револьверных полуавтоматах и автоматах, протяжных и револьверных станках.

Обработка точных отверстий требует больших затрат станочного времени и средств на инструмент, чем аналогичная обработка таких же по размерам наружных поверхностей с той же степенью точности, т.к. режущий инструмент, и особенно его крепления, для обработки отверстий не обладает такой же жесткостью конструкции как инструмент для наружной обработки.

Для повышения точности при обработке отверстий увеличивают число рабочих ходов, чтобы таким образом постепенно довести погрешности первоначальной обработки до допустимых размеров.

Так, если для обтачивания гладкого вала по 8 качеству точности достаточно двух рабочих ходов, то для обработки отверстия такого же диаметра и с той же точностью понадобится не менее четырех операций или переходов: сверление двумя сверлами, зенкование и одно или двукратное развертывание.

При обработке отверстий даже с относительно большим числом переходов в обычных условиях не удастся достигнуть высокой точности по соосности обрабатываемого отверстия и какой-либо наружной цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки. Поэтому, чтобы выполнить это условие, необходимо

сначала окончательно обработать отверстие, а затем, установив заготовку этим отверстием на точную оправку, обработать наружные поверхности заготовки.

Отверстия диаметром до 80 мм в сплошном металле сверлят спиральными сверлами на сверлильных станках или станках токарной группы. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверлильные головки специальных конструкций и выполняют на расточных станках.

### 14.1 Обработка на сверлильных станках

Сверлильные станки подразделяют на универсальные, специализированные и специальные.

Основные виды обработки, которые можно выполнять на сверлильных станках, показаны на рис.14.1.

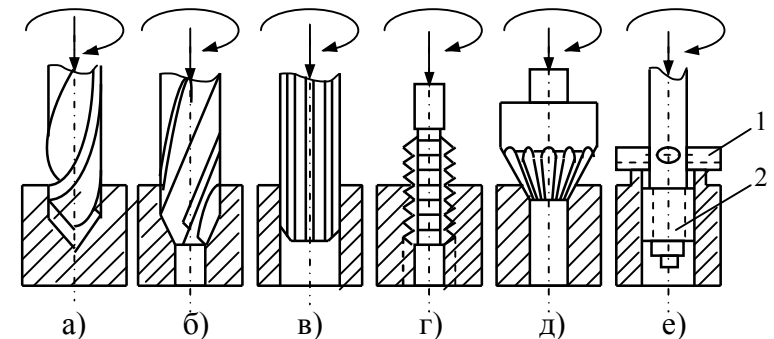


Рис. 14.1– Виды обработки на сверлильных станках

**Сверление** отверстий производится при вращении сверла и его осевой подаче (рис. 14.1а). Сверло может быть спиральным или другой конструкции. Чтобы сохранить межцентровое расстояние при сверлении отверстий больших диаметров (когда обработка одним сверлом большого диаметра может дать значительное отклонение оси сверления) выполняют рассверливание, т.е. вторичную обработку сверлом большого диаметра ранее

просверленного отверстия. При нормальном сверлении достигается точность диаметра отверстия по 12...11 квалитетам.

**Зенкерование** отверстий (рис. 14.1б) производится зенкером и служит для улучшения геометрической формы ранее просверленного отверстия. Оно обеспечивает точность обработки отверстия после сверления на один квалитет выше.

**Развертывание** отверстий (рис. 14.1в) выполняют после зенкерования для того, чтобы устранить грубые следы предыдущей обработки; расположение оси отверстия при этой операции не может быть исправлено. Развертывание производят одно- или многократно. При однократном развертывании достигается точность обработки отверстия по 8...7 квалитетам, а при двух- или трехкратном развертывании можно достигнуть точности по 6 квалитету. Шероховатость поверхности отверстия при развертывании может быть доведена до  $R_a = 0,8...0,4$  мкм.

**Нарезание** резьбы (рис. 14.1г) производят после сверления отверстия метчиками различных конструкций. При этом необходим обратный ход шпинделя (реверсирование) для вывертывания метчика из заготовки после нарезания резьбы. Исключение составляют так называемые падающие метчики (выпадающие из гнезда шпинделя) и специально гаечные метчики, у которых нарезанные гайки последовательно перемещаются на гладкую часть стержня метчика.

**Зенкование** (рис. 14.1д) применяют после сверления отверстия для снятия фаски, например, под потайную головку винта.

**Цекование** (рис. 14.1е) предусмотрено для подрезки торца бобышки заготовки или для получения ступенчатого отверстия. Эту операцию выполняют специальным инструментом – цековкой, которая имеет переставной резец 1, устанавливаемый по размеру диаметра обрабатываемой поверхности, и направляющую часть 2 для обеспечения соосности поверхностей ступенчатого отверстия.

Кроме перечисленных основных работ на сверлильных станках можно выполнять и другие виды обработки отверстий спе-

циальными инструментами, например, фасонные выточки на цилиндрической и торцевой поверхности отверстий.

При сверлении глубоких отверстий на обычных сверлильных станках спиральные сверла не могут обеспечить правильного направления и прямолинейности оси отверстия. Происходит уход сверла в сторону от направления, заданного осью вращения шпинделя. Прямолинейность оси отверстия ограничена жесткостью сверла и направляющим действием ленточек, расположенных вдоль канавок сверла и скользящих по просверленной части отверстия.

При неодинаковой заточке обеих режущих кромок сверла или неравномерном их затуплении сверло также начинает «уводить» ось отверстия в сторону от оси вращения шпинделя. Большое влияние оказывают условия работы сверла в начальный момент, когда резание производят лишь поперечной кромкой, перпендикулярной оси сверла. Кроме того, значительные упругие деформации сверла при работе (продольный изгиб), зазоры в подшипниках шпинделя, неравномерное налипание стружки на главные и вспомогательные режущие кромки сверла создают условия для ухода сверла в сторону от оси шпинделя.

Чтобы предотвратить уход сверла и искривление оси отверстия, при глубоком сверлении применяют следующие способы и приемы работы:

1) небольшие подачи, тщательную заточку сверла с соблюдением одинакового и равномерного наклона обеих режущих кромок, наблюдение за износом сверла и налипанием металла на главные и вспомогательные кромки, надлежащее охлаждение сверла;

2) предварительное засверливание с помощью короткого сверла большого диаметра (с углом  $2\varphi = 90^\circ$ ), которое особенно необходимо при сверлении отверстий сверлами небольших диаметров;

3) сверление с помощью кондукторской втулки при сравнительно небольших отношениях  $l/d$ ;

4) сверление при вращающейся заготовке. В этом случае имеет место как бы самоцентрирование сверла в противоположность обычной его склонности к уходу.

## 14.2 Обработка на расточных станках

Расточные станки применяют главным образом для обработки в заготовках корпусных деталей отверстий с точно координированными осями (блоки двигателей, коробки передач и т.п.). Универсально-расточные станки бывают для обычных и для точных расточных работ. Они бывают горизонтальные и вертикальные.

На горизонтально-расточных станках можно сверлить и развертывать отверстия, нарезать в них резьбу и фрезеровать плоскости. Такие станки применяют в единичном и мелкосерийном производствах для обработки заготовок корпусных деталей.

**Особенность:** заготовка на столе расточного станка не вращается; она может перемещаться вместе со столом параллельно оси шпинделя (продольная подача). Резцы крепятся к резцедержателю, который вращается вместе с планшайбой.

На рисунке 14.2 показаны основные виды работ, выполняемые на горизонтально-расточном станке, с указанием движений основных узлов станка.

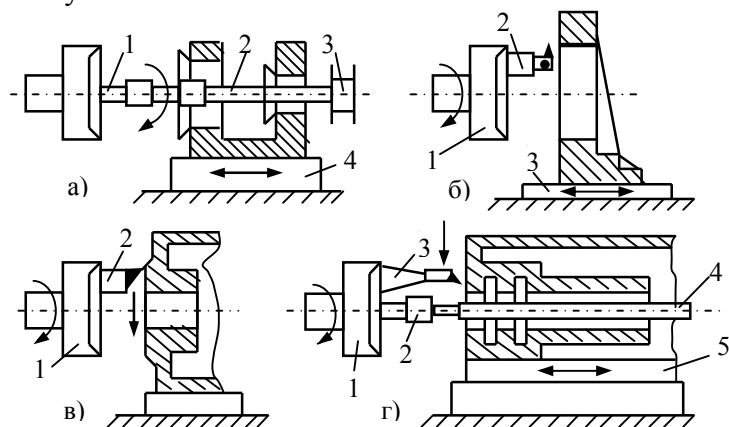


Рис. 14.2 – Работы, выполняемые на горизонтально-расточном станке

На рис. 14.2а показано одновременное растачивание двух концентричных отверстий резцами, закрепленными на борштанге 2, которую приводит во вращение шпиндель 1 и поддерживает люнет 3 задней стойки. При обработке заготовки стол 4 перемещается параллельно оси шпинделя (продольная подача). Этот способ растачивания с продольной подачей стола применяют в случае, когда расположенные соосно растачиваемые отверстия имеют значительную длину и возможен прогиб борштанги 2.

На рис. 14.2б показано растачивание отверстия большого диаметра с помощью резца, закрепленного в резцедержателе 2, который укреплен на планшайбе 1. Продольная подача заготовки осуществляется движением стола 3, а радиальная подача резца – радиальным перемещением резцедержателя на планшайбе. Этим способом можно растачивать отверстия большого диаметра, но сравнительно малой длины.

На рис. 14.2в показана обработка «летучим» суппортом торца заготовки после растачивания отверстия. В данном случае заготовка неподвижна и стол не перемещается. Планшайба 1 вращает резцедержатель 2 с закрепленным резцом, который перемещается радиально, обрабатывая торцевую поверхность заготовки. Эта операция встречается при обработке больших несимметричных поверхностей.

Могут быть и другие схемы обработки, совмещающие разные операции, например, одновременное растачивание отверстия резцом, закрепленным на борштанге, и обработка торца заготовки резцом, закрепленным в резцедержателе. Заготовка вместе со столом в этот момент неподвижна.

## 14.3 Обработка на шлифовальных станках

Внутреннее шлифование применяют главным образом при обработке точных отверстий в закаленных деталях, а также в тех случаях, когда по каким-либо причинам невозможно применить

другие, более производительные методы точной обработки отверстий, например, алмазное растачивание, хонингование и др.

Существуют два способа внутреннего шлифования: во вращающейся заготовке и в неподвижной заготовке (рис.14.3). Первый способ применяют при шлифовании отверстий в небольших по размерам заготовках, большей частью представляющих собой тела вращения, например, отверстий в зубчатых колесах, в кольцах шарико- и роликоподшипников, а второй – при шлифовании отверстий в заготовках корпусных деталей, которые неудобно или невозможно закрепить в патроне станка.

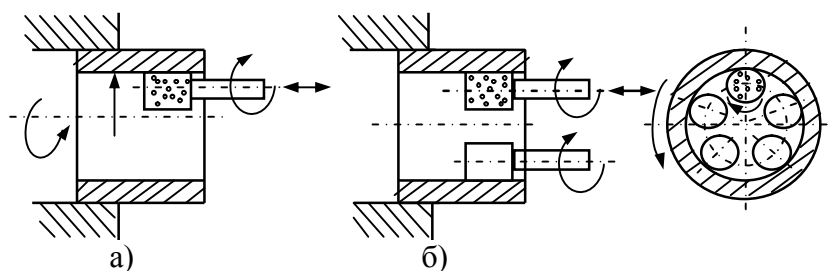


Рис. 14.3 – Виды внутреннего шлифования

В первом случае (а) обрабатываемую заготовку зажимают в патроне и приводят во вращательное движение. Во втором случае (б) заготовка устанавливается на столе станка, а шпиндель шлифовального круга помимо вращательного движения имеет планетарное движение.

В обоих случаях осуществляется продольная подача шлифовального круга вдоль оси шлифуемого отверстия: в первом случае движение шпиндельной головки, во втором – движением стола.

Наиболее существенное отличие внутреннего шлифования от наружного круглого шлифования заключается в том, что обработка проводится кругом малого диаметра (0,7-0,9 диаметра отверстия заготовки).

Относительно малая жесткость шпинделя круга ограничивает глубину резания (поперечную подачу) в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия при предварительном шлифовании стали и чугуна 0,005...0,02 мм и при чистовом шлифовании 0,002...0,01 мм на один двойной ход.

Внутреннее шлифование производят вращением с продольной подачей, соответствующей, как и при круглом наружном шлифовании, 0,4...0,8 ширины круга при предварительном шлифовании и 0,25...0,4 круга при чистовом.

#### 14.4 Обработка на протяжных станках

**Протягивание** – процесс обработки поверхности специальным инструментом – протяжкой, зубья которой за один ход снимают весь припуск  $Z$ . На протяжке кроме основных режущих зубьев имеются калибрующие, придающие обрабатываемой поверхности требуемые точность и шероховатость.

Различают три основных вида протягивания (рис.14.4).

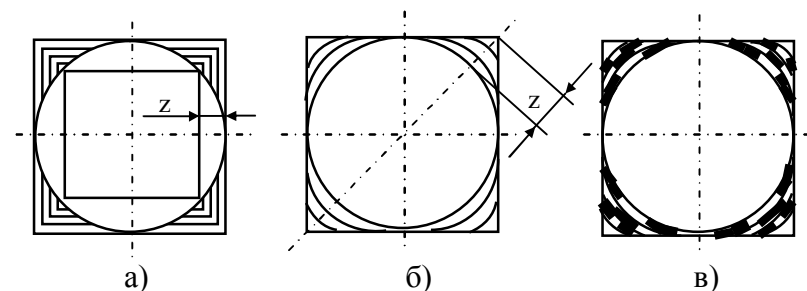


Рис. 14.4 - Виды протягивания

По профильной схеме (рис. 14.4 а), осуществляемое протяжками, все зубья которых имеют профиль, подобный профилю (контуру) поперечного сечения обрабатываемой поверхности, различаясь только размерами, причем каждый зуб последовательно снимает слой металла по форме профиля обрабатываемой поверхности; по генераторной схеме (рис. 14.4 б); по прогрессивной схеме (рис. 14.4 в).

Первая профильная схема применима при протягивании поверхностей со снятием тонкого слоя металла по всей ширине обработки.

Процесс протягивания проводится на протяжных станках, наиболее распространенным видом является горизонтально протяжные станки.

Размеры припусков под протягиванием при обработке цилиндрических отверстий колеблются от 0,5 до 1,5 мм на диаметр, в зависимости от диаметра отверстий. Точность обработки – 8...7 квалитеты. Для глубоких отверстий припуск увеличивается на 25-50% ( $l > 4d$ ). Такие же припуски принимают при протягивании шлицевых отверстий, если впадины обрабатывают одновременно с отверстием комбинированной протяжкой. Достижимая шероховатость поверхности  $R_a = 0,8...0,4$  мкм.

По конструкции зубьев протяжки бывают режущими и уплотняющими. В первом случае зубья имеют острые кромки, а во втором – округленные, работающие на уплотнение обрабатываемой поверхности.

Наиболее распространенными являются круглые протяжки с прямыми зубьями. Для протягивания многократных отверстий применяют квадратные, шестигранные, прямоугольные и другого профиля протяжки. Особенностью их конструкций является наличие нескольких ступеней по длине с различными подъемами на зуб.

Для одновременной обработки различных поверхностей шлицевого отверстия применяют комбинированные протяжки, которые предварительно протягивают гладкое отверстие, а затем шлицы. Такие протяжки имеют вначале зубья круглой формы, за которыми расположены зубья, соответствующие форме шлица.

Шпоночные протяжки предназначены для протягивания в отверстиях шпоночных канавок.

При протягивании отверстий, за исключением случаев координатного протягивания, обрабатываемая деталь центрируется направляющим участком (шейкой) протяжки и усилием резания

прижимается к опорной поверхности планшайбы станка. Поэтому приспособления для внутреннего протягивания, отличающиеся простотой, не имеют специальных зажимных механизмов.

## 14.5 Отделочные виды обработки отверстий

К основным отделочным видам обработки отверстий относятся тонкое, или алмазное, растачивание; хонингование и притирка.

**Тонкое растачивание** применяют главным образом для обработки цветных металлов и их сплавов, т.к. при шлифовании заготовок из этих материалов круги засаливаются и это затрудняет обработку. Тонкое растачивание характеризуется незначительной глубиной резания (0,05...0,3) и небольшими подачами (0,02...0,12 мм/об) при высоких скоростях резания (120...1000 м/мин и выше). Обработку осуществляют алмазными резцами или резцами с пластинами из твердого сплава. Точность обработки достигается в пределах 6...5-го квалитетов и шероховатость поверхности  $R_a = 0,8...0,1$  мкм с отклонениями от правильной геометрической формы (овальность и др.) не более 0,003...0,005 мм.

**Хонингование** является основным видом отделочной обработки отверстий. Инструмент – доводочная головка (хон), режущим инструментом которой являются абразивные бруски (6 штук). Точность обработки при хонинговании соответствует 7...5 квалитетам и шероховатости поверхности в пределах  $R_a = 0,32...0,02$  мкм.

В процессе хонингования могут быть исправлены погрешности формы отверстия после предыдущей операции. На качество влияют характеристики абразивных брусков и режимы обработки. Бруски изготавливают из электрокорунда зернистостью 8...3 или из синтетического алмаза.

При хонинговании обычно применяют охлаждающие жидкости (90% керосина и 10% масла).

**Притирка** – способ отделки отверстий вращающимся притиром. Отверстия притирают лишь в единичном и мелкосерийном производстве при обработке точных небольших отверстий, когда применение хонингования затруднено.

#### 14.6 Образование резьбовых поверхностей

Основным видом цилиндрической резьбы является метрическая резьба с диаметрами 0,25 до 600 мм. По размеру шага эту резьбу делят на резьбу с крупным и мелким шагом. Одному и тому же номинальному (наружному) диаметру резьбы соответствует несколько шагов разной величины.

В соответствии с ГОСТ 16093-81 поля допусков болтов и гаек установлены в трех классах точности: точном, среднем и грубом.

Используются также специальные цилиндрические резьбы:

- трубная резьба – измельченная по шагу дюймовая резьба с закругленными впадинами;
- трапециидальная резьба для передачи, движения (ходовые и грузовые винты);
- упорная резьба – в резьбовых соединениях, испытывающих большое одностороннее давление (в винтовых прессах, специальных нажимных винтах и др.);
- часовая резьба – применяют в точном приборостроении для резьбовых соединений диаметром меньше 1 мм;
- круглая резьба – используется в соединениях с повышенными динамическими нагрузками или в условиях, загрязняющих резьбу;
- коническая резьба обычно применяется в трубных соединениях, если необходимо обеспечить плотность соединения без специальных уплотняющих материалов.

**Нарезание наружной резьбы.** Наружную резьбу нарезают плашками различных конструкций, резьбонарезными головками (с раздвигающимися плашками), резьбовыми резцами, гребен-

ками, дисковыми и групповыми резьбовыми фрезами, шлифовальными кругами и накатыванием.

Круглыми плашками нарезают резьбы невысокой точности, т.к. профиль резьбовой нитки у них не шлифуют. Используют главным образом для нарезания резьб на заготовках из цветных металлов и для нарезания резьб малых диаметров (до 30 мм) на заготовках из сталей. Плашки изготавливают разрезными или регулируемыми по диаметру и неразрезными. Ненарезные плашки более надежны и обеспечивают получение более правильной и чистой резьбы, чем разрезные.

При нарезании резьбы плашками на станках их вставляют в самовыключающиеся от упора патроны. Плашку закрепляют в патроне тремя упорными винтами. Патрон подают на нарезаемый стержень вручную до тех пор, пока нарезаемая резьба не захватит и не поведет плашку, после чего происходит самозатягивание.

Нарезание наружной резьбы на сверлильных, револьверных, болторезных станках и автоматах резьбонарезными головками является более совершенным, производительным и точным способом.

Резьбовые резцы и гребенки применяют при нарезании особо точных наружных резьб, например, для резьбовых калибров, а также при чистовом нарезании точных ходовых трапециидальных и прямоугольных резьб. Профиль резьбового резца представляет собой профиль впадины нарезаемой резьбы.

**Шлифование резьбы** абразивными кругами на резьбошлифовальных станках применяют для обработки метчиков, резьбовых фрез, резьбовых калибров, накатных роликов. В практике производства применяют два основных способа шлифования резьбы:

- шлифование одноконтурным шлифовальным кругом, профилированным в соответствии с профилем одной впадины резьбы;
- шлифование резьбы многоконтурным кругом с кольцевыми нитками.



**Нарезание внутренней резьбы.** Внутреннюю резьбу нарезают в основном метчиками. Используют также резцы, гребенки, резьбовые фрезы. В зависимости от способа нарезания резьбы метчики разделяют на машинные для нарезания резьбы на станках и ручные или слесарные, применяющиеся при нарезании резьбы вручную с помощью клуппов.

Машинными метчиками резьба нарезается за один ход одним метчиком. Лишь в случаях нарезания длинных резьб или резьб в глухих отверстиях применяют два метчика. Точные резьбы после нарезания доводят калибровочным метчиком вручную или на станке. Ручными метчиками резьбу нарезают за два или три рабочих хода в зависимости от размера резьбы соответственно различными метчиками, входящими в комплект. Для машинной нарезки как в сквозных, так и глухих отверстиях используют резьбонарезные, сверлильные, револьверные станки, токарные автоматы и полуавтоматы.

**Фрезерование наружной и внутренней резьб.** Это фрезерование производят дисковыми и гребенчатыми или групповыми фрезами. При нарезании дисковыми фрезами инструмент устанавливают под углом, равным углу подъема нитки нарезаемой резьбы. Резьбы с крупным шагом нарезают коническими профильными фрезами или цилиндрическими концевыми фрезами с поочередной обработкой одной, а затем другой стороны нитки. Трапецеидальные и прямоугольные резьбы с крупным шагом фрезеруют дисковыми фрезами предварительно, а чистовые переходы делают резьбовым резцом за несколько рабочих ходов.

**Накатывание резьбы.** Принцип образования наружной и внутренней резьб накатыванием заключается в том, что заготовка прокатывается между двумя параллельно расположенными на определенном расстоянии друг от друга призматическими (плоскими) резьбовыми плашками или между цилиндрическими вращающимися роликами. Накатывание производится на резьбонакатных станках: диаметр резьб 2...25 мм.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клепиков, В. В. Технология машиностроения: Учебник / В. В. Клепиков, А. Н. Бодров. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 860 с.
2. Черепяхин, А. А. Технология обработки материалов: Учебник / А. А. Черепяхин. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
3. Салтыков, В. А. Технологии машиностроения. Технологии заготовительного производства: Учебное пособие / В. А. Салтыков, Ю. М. Аносов, В. К. Федюкин. – СПб. : Изд-во Михайлова В.А., 2004. – 336 с.
4. Маслов, А. Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: Справочник, 2-е изд. исправ. и доп. – М. : Машиностроение, 2002. – 256 с.
5. Берлинер, Ю. И. Технология химического и нефтяного аппаратостроения / Ю. И. Берлинер, Ю. А. Балашов. – М. : Машиностроение, 1996. – 288 с.
6. Шишмараев, В. Ю. Машиностроительное производство: Учебник / В. Ю. Шишмараев, Т. И., Каспина. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 352 с.
7. Аверченков, В. И. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений: Учеб. пособие / В. И. Аверченков, [и др.] – М. : Инфра-М, 2006. – 288 с.
8. Медведев, В. А. Технологические основы гибких производственных систем: Учебник / В. А. Медведев, В. П. Вороненко, В. Н. Брюханов. – М. : Высшая школа, 2009. – 255 с.
9. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов химических производств. Атлас типовых технологических процессов и чертежей / под ред. А. Д. Никифорова. – М. : Машиностроение, 1989. – 244 с.
10. Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении : учебник для бакалавров / С. Г. Ярушин. – М. : Юрайт, 2011. – 564 с.

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>		с.
ВВЕДЕНИЕ		3
ЛЕКЦИЯ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ		6
1.1 Производственный и технологический процессы		6
1.2 Технологическая документация		14
ЛЕКЦИЯ 2 ТРУДОЕМКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ		16
ЛЕКЦИЯ 3 ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ		19
3.1 Общие положения		19
3.2 Факторы, определяющие точность обработки		20
ЛЕКЦИЯ 4 Рассеивание размеров обрабатываемых деталей		25
4.1 Рассеивание размеров обрабатываемых деталей		25
4.2 Расчетно-аналитический метод обеспечения точности обрабатываемых заготовок		27
4.3 Определение возможного брака по площади кривой распределения		30
ЛЕКЦИЯ 5 СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ С ПОСТРОЕНИЕМ ТОЧЕЧНЫХ ДИАГРАММ		33
ЛЕКЦИЯ 6 РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ		37
ЛЕКЦИЯ 7 КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ		43
7.1 Качество поверхности		43
ЛЕКЦИЯ 8 БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ		48
8.1 Основные понятия и термины		48
8.2 Схемы базирования		52

ЛЕКЦИЯ 9 ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ И ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ		56
ЛЕКЦИЯ 10 ЗАГОТОВКИ		63
10.1 Виды и способы изготовления заготовок		63
10.2 Основные требования к заготовкам		68
ЛЕКЦИЯ 11 ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ		71
ЛЕКЦИЯ 12 МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ДЕТАЛЕЙ		74
12.1 Обработка наружных поверхностей тел вращения		74
12.2 Обработка шлифованием		77
ЛЕКЦИЯ 13 ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ТОКАРНЫХ И ШЛИФОВАЛЬНЫХ РАБОТ		81
13.1 Приспособления для токарных и шлифовальных работ		81
13.2 Отделочные виды обработки		82
ЛЕКЦИЯ 14 ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ		84
14.1 Обработка на сверлильных станках		85
14.2 Обработка на расточных станках		88
14.3 Обработка на шлифовальных станках		89
14.4 Обработка на протяжных станках		91
14.5 Отделочные виды обработки отверстий		93
14.6 Обработка резьбовых поверхностей		94
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК		97

