Белорусский национальный технический университет

Приборостроительный факультет

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

Согласовано
Зав. кафедрой «Конструирование и производство приборов»
_____А.Л. Савченко
«____» _____2024 г.

Согласовано
Декан приборостроительного факультета
_____ А.И. Свистун
«___» _____ 2024 г.

Электронный учебно-методический комплекс
по учебной дисциплине

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

для специальности 6-05-0716-06 Биомедицинская инженерия

Составители: к.т.н., доцент Филонова М.И., инженер Богдан Д.Ю.

Рассмотрено и утверждено на заседании совета приборостроительного факультета 25 марта 2024 г., протокол № 7.

Минск
БНТУ
2024

Перечень материалов

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Технология производства изделий медицинского назначения» состоит из следующих разделов:

I. Теоретический раздел:

– курс лекций.

II. Практический раздел:

– лабораторный практикум
- курсовой проект

III. Контроль знаний

– перечень вопросов, выносимых на экзамен.

IV. Вспомогательный раздел:

– перечень учебников и учебных пособий, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели создания ЭУМК:

Целью ЭУМК по дисциплине «Технология производства изделий медицинского назначения» является формирование у студентов комплекса знаний по изучаемой учебной дисциплине, соответствующих академическим, социально-личностным и профессиональным компетенциям специалиста в рамках образовательных стандартов для специальности 6-05-0716-06 Биомедицинская инженерия.

Особенностями структурирования и подачи учебного материала являются изучение следующих теоретических материалов:

– изучение теоретических и технологических основ обеспечения заданной производительности, точности и качества обработанных поверхностей деталей и сборки изделий;

– изучение технологий и оборудования для изготовления деталей и изделий медицинского назначения.

Практическая часть содержит методические указания по выполнению лабораторных работ и курсового проекта. Раздел контроля знаний содержит вопросы к экзамену. Вспомогательный раздел содержит перечень учебников и учебных пособий, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе по дисциплине «Технология производства изделий медицинского назначения».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК: материалы данного электронного учебного-методического комплекса можно использовать при выполнении лабораторных работ и курсовых проектов, связанных с проектированием технологических процессов.

Содержание

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 5
1. Теоретические и технологические основы обеспечения заданной производительности, точности и качества обработанных поверхностей деталей и сборки изделий 5
1.1. Основные понятия и определения 5
1.2. Способы получения заготовок 11
1.3. Точность механической обработки и методы ее обеспечения 34
1.4. Погрешности механической обработки и анализ причин их вызывающих 40
1.5. Оценка точности механической обработки партии заготовок и методы ее обеспечения 72
1.6. Влияние шероховатости и состояния поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей 130
1.7. Технологичность конструкции деталей и изделий 150
1.8. Припуски на обработку 155
1.9. Основы технического нормирования 174
1.10. Экономичность и производительность технологических процессов ... 177
1.11. Проектирование технологических процессов механической обработки 181
1.12. Основные сведения о технологии сборки 186
1.13. Основные сведения об электрофизических и электрохимических методах обработки материалов 193
1.14. Технология поверхностных покрытий 208
2. Технологии и оборудование для изготовления деталей и изделий медицинского назначения 243
2.1. Технология формообразования изделий из пластмасс 243
2.2. Технология производства оптических деталей и изделий медицинского назначения 259
2.3. Технология изготовления упругих элементов изделий медицинского назначения 271
2.4. Технология изготовления зубных боров, алмазных стоматологических головок и инструментов для обработки корневого канала зуба 297
2.5. Технология изготовления зубных протезов 306
2.6. Технология изготовления имплантатов 309
2.7. Технология изготовления колющих режущих медицинских инструментов 318
2.8. Технология производства электротехнических деталей и изделий 325
2.9. Проектирование и изготовление – единый процесс создания изделия ... 325
II. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 350
1. Задачи курсового проектирования 372
2. Содержание и объем курсового проекта 372
2.1. Содержание графической части 372
2.2. Содержание расчетно-пояснительной записки 372

3. Оформление курсового проекта 373
4. Защита курсового проекта..... 374
5. Примерный календарный план выполнения курсового проекта 374
6. Выполнение основных этапов проекта..... 375
6.1 Анализ конструкции детали на технологичность и оформление рабочего чертежа детали..... 375
6.2. Выбор метода получения заготовки и разработка маршрутной технологии 379
6.3. Расчет припусков на обработку..... 379
6.4. Расчет режимов резания и нормирование техпроцесса 380
6.5. Выбор средств измерения 383
6.6. Оформление технологической документации 384
III. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ 388
Контроль знаний 1-й семестр..... 388
Контроль знаний 2-й семестр..... 389
IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ..... 391
Основная литература..... 391
Дополнительная литература..... 392

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1. Теоретические и технологические основы обеспечения заданной производительности, точности и качества обработанных поверхностей деталей и сборки изделий

1.1. Основные понятия и определения

Дисциплина ТПИМН является одной из базовых дисциплин в подготовке инженеров технических ВУЗов. Знания основ технологии необходимы при проектировании технологических процессов изготовления изделий медицинского назначения заданного качества в заданном количестве в определенный календарный промежуток времени при наименьшей себестоимости.

Целью изучения учебной дисциплины является формирование у студентов комплекса теоретических и практических знаний, а также навыков и умений в области технологии производства изделий медицинского назначения.

Основными задачами изучения учебной дисциплины являются:

- изучение общих принципов и закономерностей построения технологических процессов с анализом тех основных параметров, воздействуя на которые можно интенсифицировать производство, обеспечив при этом заданную точность, экономичность и качество обработанных деталей и последующей сборки из них готовых изделий;
- изучение общих сведений, основных технологических показателей и возможностей современных электрофизических и электрохимических методов обработки материалов, применяемых для изготовления изделий медицинского назначения;
- изучение способов обработки и технологических процессов изготовления типовых деталей и изделий медицинского назначения;
- формирование практических навыков по разработке и проектированию технологических процессов изготовления типовых изделий медицинского назначения.

Дисциплина «Технология производства изделий медицинского назначения» базируется на курсах «Математика», «Материаловедение и технология материалов», «Стандартизация норм точности», «Элементы медицинских приборов и систем», «Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении», «Анатомия и физиология человека», а также формирует комплекс знаний и практических навыков, необходимых при разработке конструкций и проектировании процессов изготовления изделий медицинского назначения.

В результате изучения учебной дисциплины «Технология производства изделий медицинского назначения» студент должен знать:

- состав и структуру производственного и технологического процессов;
- основные функции технологической подготовки производства;

- методы автоматизированного проектирования технологических процессов,

- правила составления маршрута изготовления изделий;

- методы обработки типовых деталей и узлов изделий медицинского назначения,

- методы оценки технологичности изделия;

уметь:

– правильно выбирать последовательность и маршрут обработки типовых деталей изделий медицинского назначения с учетом предъявляемых медико-биологических требований, серийности производства, заданной точности и экономичности производства;
– давать оценку точности технологического процесса методами математической статистики,
– применять различные методы достижения заданной точности и качества изготовленных изделий;

владеть:

- навыками оформления документации, связанной с технологической подготовкой производства с использованием современных технологий;
- основными приемами управления и работы с технологическим оборудованием;
- навыками расчета основных параметров технологических процессов.

Изделием называют любой предмет труда или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают изделия основного и вспомогательного производства. Изделия основного производства предназначены для реализации, а вспомогательного – для собственных нужд предприятия.

Изделия делят на не специфицированные и специфицированные. Не специфицированные изделия (детали) не имеют составных частей. Специфицированные изделия (сборочные единицы) состоят из двух и более частей.

Заготовка – предмет производства, из которого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности и свойств материала изготовляют деталь. Исходная заготовка – заготовка перед первой технологической операцией.

Деталью называют изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Конструктивная форма детали образуется сочетанием объемов материала, ограниченных простыми геометрическими поверхностями – плоскостями, цилиндрами, конусами, сферами и т. д.

Конструктивная форма детали, набор поверхностей, которые ее образуют, размерные соотношения между ними и их точность не являются плодом вольной фантазии конструктора, а определяются теми задачами служебного назначения, решение которых должна обеспечивать деталь. Другими

словами, каждая поверхность детали имеет свое определенное функциональное назначение.

С этой точки зрения любая поверхность детали, может быть, отнесена к одной из следующих функциональных групп:

- основная база (ОБ);
- вспомогательная база (ВБ);
- исполнительная поверхность (ИП);
- свободная поверхность (СП).

Комплекс — это два и более специфицированных (состоящих из двух и более составных частей) изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций; например, автоматическая линия, цех-автомат, станок с ЧПУ с управляющими панелями и т. п.

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

Комплектующее изделие — это изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем. Составными частями изделия могут быть детали и сборочные единицы (ГОСТ 3.1109—82).

Производственный процесс – это совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления выпускаемых изделий. В производственный процесс входят все работы по технической подготовке производства, которая включает конструкторскую подготовку производства, технологическое проектирование, календарное планирование производственного процесса изготовления изделий в установленные сроки в необходимых объемах.

Производственный процесс изготовления прибора можно разделить на следующие этапы:

– подготовка и обслуживание средств производства;
– получение или изготовление материалов и заготовок (отливок, штамповок, сортового проката);
– обработка заготовок на металлорежущих станках и их термообработка;
– сборка сборочных единиц разных порядков и изделия (прибора);
– регулировка и испытание;
– окраска и отделка изделия (прибора);
– консервация изделия и упаковка в тару.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (ГОСТ 3.1109-82). К предметам труда относят заготовки и изделия. Для осуществления технологического процесса

необходимо применение совокупности орудий производства – технологического оборудования и оснастки. К технологическому оборудованию относятся металлорежущие станки, прессы, печи, гальванические ванны, сборочные и испытательные стенды и т.д. Примерами технологической оснастки являются приспособления, режущий и измерительный инструмент, штампы, пресс-формы, литейные формы и т.д.

Последовательность прохождения заготовки детали или сборочной единицы по цехам и производственным участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготовления изделия называется ***технологическим маршрутом.***

Технологический процесс имеет свою структуру и состоит из технологических операций, а операции – из технологических переходов, установов, позиций, рабочих и вспомогательных ходов.

Технологическая операция– это законченная часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте. Технологические операции принято именовать по используемому оборудованию (токарная, фрезерная, шлифовальная и т.д.). На основе операции определяется трудоемкость обработки, необходимое оборудование и оснастка.

Установ – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки. При выполнении операции закрепленная заготовка вместе с приспособлением может занимать несколько последовательных положений в пространстве, каждое из которых называют позицией.

Технологический переход– это законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой. Режим обработки при этом остается неизменным. Изменение хотя бы одного из этих условий приводит к новому переходу.

Вспомогательный переход – это законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования по установке, закреплению заготовки, смене инструмента и т.д.

Рабочий ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности. Переход может быть выполнен в один или несколько рабочих ходов, одним или одновременно участвующими в работе несколькими инструментами.

Технологические процессы подразделяются на следующие виды: единичный и унифицированный (типовой и групповой).

Единичный технологический процесс разрабатывается для изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства. Типоразмер – одна из нескольких деталей одного типа, отличающаяся одним или несколькими размерами. Исполнение – одна из

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

Типовой технологический процесс разрабатывается для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Типовые технологические процессы имеют общий маршрут для всех деталей-типоразмеров одного типа.

Тип производства, согласно ГОСТ 3.1108-74, характеризуется коэффициентом закрепления операций за одним рабочим местом или единицей оборудования

$$K_{З.О} = \frac{Q}{P_М},$$

где Q – число различных операций, выполняемых за месяц на участке;
$P_М$ – число рабочих мест, на которых выполняются данные операции.

Различным типам производства соответствуют следующие значения коэффициентов закрепления операций:

Таблица 1 - Коэффициент закрепления операций

Тип производства	$K_{З.О}$
Массовое	1-2
Серийное:	
крупносерийное	Св. 2 до 10
среднесерийное	Св. 10 до 20
мелкосерийное	Св. 20 до 40
Единичное	Св. 40

В проектных условиях можно полагать, что $K_{З.О}$ определяет число операций такой же трудоемкости, как и рассматриваемая, которые можно было бы закрепить за одним рабочим местом для его полной загрузки в течение месяца. Тогда коэффициент закрепления операций определяется выражением

$$K_{З.О} = \frac{\tau_в}{T_{шт\,ср}},$$

где $\tau_в$ – такт выпуска;

$T_{шт\,ср}$ – штучное время на операцию (ориентировочное);

$$\tau_в = \frac{60Fm\eta}{N},$$

где F – номинальный годовой фонд времени (при односменной работе ***F***=2070ч);

m **–**принятое число смен в сутки;

η –коэффициент использования оборудования,
η = 0,9...0,98; *N*–годовая программа выпуска деталей с учетом запасных частей.

Ориентировочное штучное время для главных операций проектируемого ТП проще всего определить по деталям-аналогам, ТП изготовления которых уже спроектированы и внедрены, или по формулам для приближенного определения основного времени обработки поверхности, приведенным в справочной литературе.

Для серийного производства рассчитывается величина партии деталей. Количество деталей в партии можно определить упрощенно по следующей формуле

$$n = \frac{N \cdot i}{\Phi},$$

где ***n*** –количество деталей в партии;
i– число дней, на которое необходимо иметь запас деталей на складе;
Ф – число рабочих дней в году.

Для *предварительного* определения типа производства можно использовать годовой объем выпуска и массу детали (табл. 1.3.2.).

Таблица 2- Зависимость типа производства от объема выпуска, шт., и массы детали

Масса детали, кг	Тип производства				
	Единичное	Мелкосерийное	Среднесерийное	Крупносерийное	Массовое
< 1,0	< 10	10 – 2000	1500 – 100000	75000 – 200000	200000
1,0 – 2,5	< 10	10 – 2000	1000 – 50000	50000 – 100000	100000
2,5 – 5,0	< 10	10 – 500	500 – 35000	35000 – 75000	75000
5,0 – 10	< 10	10 – 300	300 – 25000	25000 – 50000	50000
>10	< 10	10 – 200	200 – 10000	10000 – 25000	25000

С целью более объективного подхода к обоснованию типа производства следует четко представлять их особенности, которые заключаются в следующем. Так, ***единичное производство*** характеризуется широкой номенклатурой изготовляемых изделий и малым объемом их выпуска. Единичное производство универсально, т.е. охватывает разнообразные типы изделий, поэтому оно должно быть гибким, с применением универсального оборудования, а также стандартного режущего и измерительного инструмента. Технологический процесс изготовления детали при этом типе производства имеет уплотненный характер, т.е. на одном станке выполняются несколько операций или полная обработка всей детали. Применение специальных приспособлений в единичном производстве экономически нецелесообразно, их используют только в исключительных

случаях. Себестоимость выпускаемого изделия при единичном производстве сравнительно высокая.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготовляемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска, чем в единичном типе производства. При серийном производстве используются универсальные станки, чаще станки с ЧПУ, а также станки-полуавтоматы, оснащенные как специальными, так и универсальными и универсально-сборными приспособлениями, часто с механизированным приводом зажима, что позволяет снизить трудоемкость и себестоимость изготовления изделия. В серийном производстве технологический процесс изготовления изделия преимущественно дифференцирован, т.е. расчленен на отдельные самостоятельные операции, выполняемые на определенных станках. При серийном производстве обычно применяют универсальные, специализированные, агрегатные и другие металлорежущие станки. При выборе технологического оборудования специального или специализированного станочного приспособления и вспомогательного инструмента необходимо производить расчет затрат и сроков окупаемости, а также ожидаемый экономический эффект от использования оборудования и технологического оснащения.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного периода времени. При массовом производстве технологические процессы разрабатываются подробно и хорошо оснащаются, что позволяет обеспечить высокую точность и взаимозаменяемость деталей, малую трудоемкость, а, следовательно, и более низкую, чем при серийном производстве, себестоимость изделий. При массовом производстве возможно более широко применять механизацию и автоматизацию производственных процессов, использовать дифференцирование технологического процесса на элементарные операции, применять быстродействующие специальные приспособления, режущий и измерительный инструмент.

1.2. Способы получения заготовок

1.2.1. Принципы выбора заготовительных технологий

Детали приборов по размерам и форме, по конструкционным материалам и функциональному значению и т.п. чрезвычайно разнообразны. Несмотря на это, при выборе метода изготовления любой заготовки целесообразно руководствоваться следующими принципами:

- форма и размеры заготовки должны быть максимально приближены к форме и размерам детали;
- необходимо учитывать технологические свойства материала изделия;
- принимать во внимание тип производства.

Эти принципы просты и очевидны, но все они должны учитываться одновременно.

В технологии приборо- и машиностроения, наибольшее распространение получили следующие технологии изготовления заготовок деталей:

- литье;
- штамповка и ковка;
- изготовление заготовок из прокатных серийных профилей;
- порошковая металлургия;
- специальные технологии изготовления заготовок из пластмасс.

Все эти технологии хорошо отработаны и описаны не только в специальной технической литературе, но и в учебниках для ВУЗов и техникумов. Поэтому изложим лишь краткие сведения об этих технологиях и отметим их основные особенности и возможности.

1.2.2 Литейные технологии

Отливки — это продукция литейного производства. Наибольшее распространение получили следующие виды литья:

- литье в песчано-глинистые формы (литье в землю);
- литье по выплавляемым моделям;
- литье в оболочковые формы;
- литье в металлические формы (кокили);
- литье под давлением;
- центробежное литье.

Основные технологические этапы литейных технологий:

- изготовление литейной формы;
- расплавление конструкционного материала;
- заливка расплавленного конструкционного материала в литейную форму;
- охлаждение и отверждение конструкционного материала в литейной форме;
- извлечение отливки из литейной формы;
- отделение отливки от литниковой системы;
- контроль качества отливки.

При этом каждая литейная технология имеет специфические особенности, которые по традиции удобно делить на достоинства и недостатки. Рассмотрим кратко особенности типичных технологических этапов для каждой литейной технологии.

Литье в песчано-глинистые формы. Это самый древний вид литья. При всей внешней простоте диапазон особенностей этой технологии настолько широк, что простирается от примитивной простоты и дешевизны до тончайшего совершенства, имя которому искусство.

Изготовление литейных форм по своей физической сущности аналогично строительству норок ребенком в песочнице. Ребенок кладет одну

ручку на песок, засыпает ее сверху песочком, желательно влажным, и утрамбовывает его второй ручкой. После утрамбовки песка ручку из него ребенок вытаскивает и там остается "норка", по размерам и форме напоминающая его засыпаемую песком ручку. В реальной технологии литья в землю вместо руки ребенка используется модель того изделия, которое будут отливать. Модели чаще всего изготавливают из дерева, реже- из пластмассы, еще реже- из металлических материалов. В подавляющем большинстве случаев модели приходится изготавливать разъемными, при этом плоскости разъема чаще всего совпадают с плоскостями симметрии изделий.

Аналогичным образом изготавливают и модели литниковой системы "каналов", по которой расплавленный материал будет поступать в литейную форму. Половинки моделей, включая модели литниковой системы, укладывают плоскостями разъема на модельную плиту, на которую ставят и опоку- своеобразный "ящик» без дна и крышки и эту опоку заполняют специальной песчано-глинистой смесью (формовочной смесью).

Эту смесь утрамбовывают и опоки (верхнюю и нижнюю) с утрамбованной смесью вместе с половинками моделей переворачивают. Половинки моделей осторожно извлекают из утрамбованной смеси и в опоках остаются полуформы моделей и литниковой системы.

Для получения литейных форм достаточно соединить верхнюю и нижнюю опоки плоскостями, которые лежали на модельной плите.

Пример получаемой конструкции литейной формы показан на рисунке 1.2.

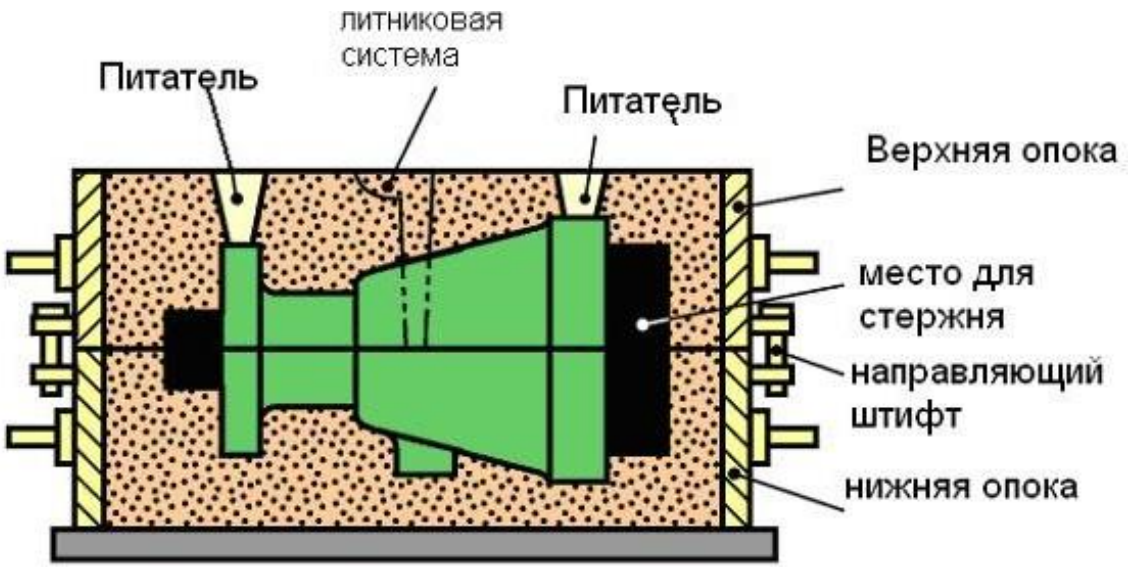


Рис. 1.2. Подготовленная для заливки форма (литье в землю)

Если в отливке должны быть какие-либо полости, то в соответствующее место формы перед соединением опок вставляют так называемые стержни из специальной «стержневой» смеси. Эти стержни препятствуют заполнению расплавленными материалом той части формы, где должна быть полость.

Очевидно, что форма и размеры стержня должны соответствовать форме и размерам той полости, которую мы хотим получить в отливке. (см. рис. 1.3)

После отверждения, залитого в литейную форму материала и разрушения этой формы получаем изделие, показанное на рисунке 1.4.

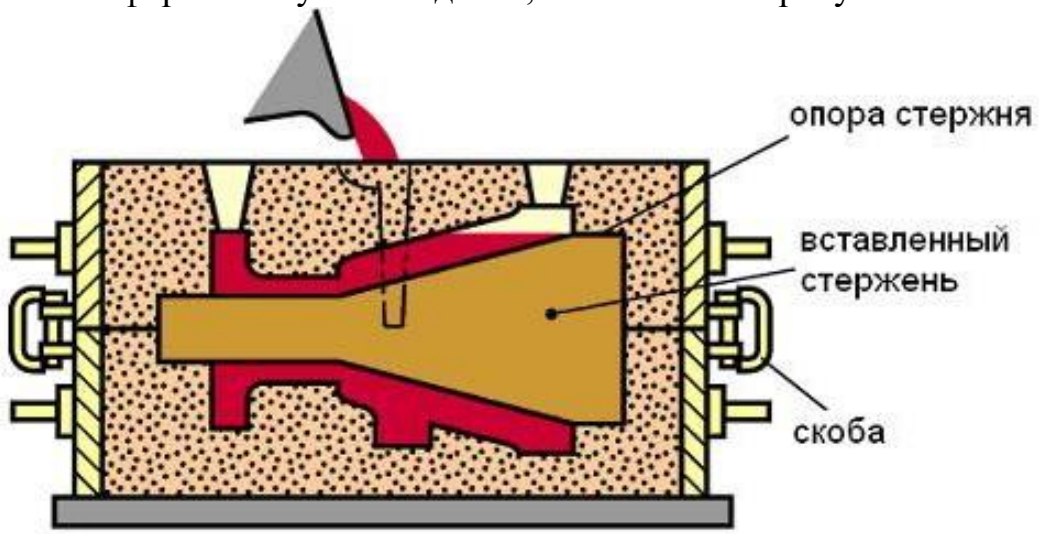


Рис. 1.3. Процесс заливки металла

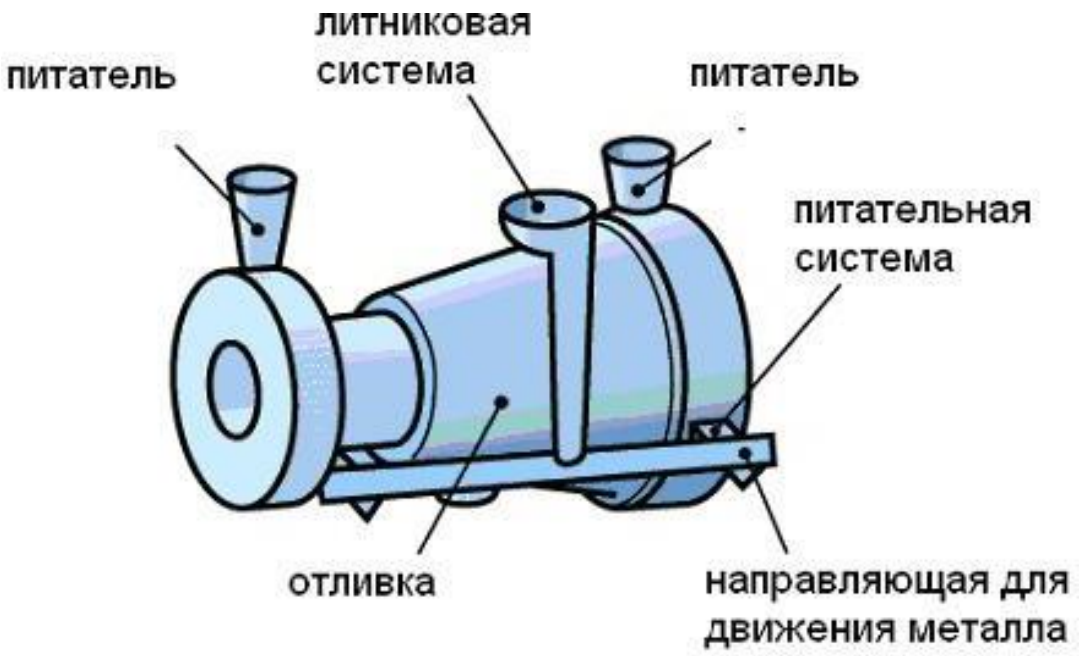


Рис. 1.4. Готовая отливка

Качественные отливки можно получить из тех конструкционных материалов, которые обладают хорошими литейными свойствами: прежде всего, *высокой жидкотекучестью, малой усадкой, малой склонностью к образованию трещин и т.п.*

Для производства отливок чаще всего используют сплав черных металлов:

- серые, высокопрочные и ковкие чугуны;
- углеродистые и легированные стали;

- медные (бронзы и латуни), цинковые, алюминиевые и магниевые сплавы;

- сплавы тугоплавких металлов (титан, молибден, вольфрам). В расплавленном состоянии металлы и сплавы могут поглощать значительное количество различных газов как из окружающей среды, так и из материала песчано-глинистых форм и стержней, что является причиной образования раковин и пористости.

Поэтому расплавленный конструкционный материал перед его заливкой в форму целесообразно подвергать дегазации путем вакуумирования, а влажность форм и стержней должна быть предельно низкой.

Заполнение литейной формы расплавленным материалом производится из ковшей различного конструктивного исполнения. При этом очень важную роль играет температура расплавленного материала.

Ее повышение улучшает жидкотекучесть материала и заполняемость литейной формы, но одновременно это повышает газонасыщенность и окисляемость материала, а также затрудняет процесс регулировки охлаждения материала в форме. В среднем рекомендуется заливать расплавленный материал при температуре на 100-150 градусов Цельсия выше температуры Ликвидуса.

Литье по выплавляемым моделям. Само название технологии раскрывает ее суть. Модели изготавливают в пресс-формах из легкоплавкого материала (воск или стеарин), которые попеременно погружают в клеевой состав и в "кипящий" песок, наращивая тем самым слой склеенного песка на поверхностях моделей.

Затем все это помещают в печь или кипяток, где легкоплавкий материал моделей расплавляется и вытекает из форм, и они помещаются в печь для прокаливания. Получается прочная, но хрупкая оболочка, в которую заливают расплавленный материал, а после затвердевания отливки форма легко разрушается от небольшой динамической нагрузки, например, от удара молотком или от небольшого нажатия прессом.

Так как материал моделей достаточно мягок, крупногабаритные модели изготавливать не рекомендуется из-за их возможной деформации под действием собственного веса. Мелкие же модели можно "приклеивать" к литниковой системе из такого же материала в большом количестве. Получается своеобразная "виноградная гроздь», ветки которой - литниковая система, а виноградинки - модели.

Таким образом, возможно изготовление многоместных литейных форм, т.е. одновременное изготовление нескольких отливок, что обеспечивает высокую производительность процесса и возможность применения данной технологии в условиях серийного и даже массового производства.

Отливают по этой технологии изделия из алюминиевых, медных сплавов, чугуна, углеродистых и легированных сталей. Габариты отливок:

max- 170x120x75 мм, min- 5x5x5 мм Вес отливок: max- 25 кг, min- 0.03-0.04 кг.

На рисунке 1.5 показаны образцы отливок, получаемые этим методом.



Рис. 1.5. Образцы отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям

Литье в оболочковые формы. Технология изготовления литейных форм такая же, как и по выплавляемым моделям, но сами модели делают так же, как для литья в землю. Это позволяет делать литейные формы по простой и дешевой технологии и получать крупногабаритные отливки, но производительность процесса значительно ниже, чем при литье по выплавляемым моделям.

Литье в кокиль. Кокиль - это металлическая форма многоразового использования, что обеспечивает достаточно высокую производительность процесса, но требует гораздо больших затрат на ее изготовление.

Литье под давлением. Расплавленный материал подается в литейную форму под достаточно большим давлением, что позволяет значительно снизить риск получения брака в виде раковин и пористости, но усложняет и удорожает систему подачи материала в форму, которая должна обладать к тому же повышенной прочностью. На рисунке 1.6 и 1.7 представлены схемы литья под давлением.

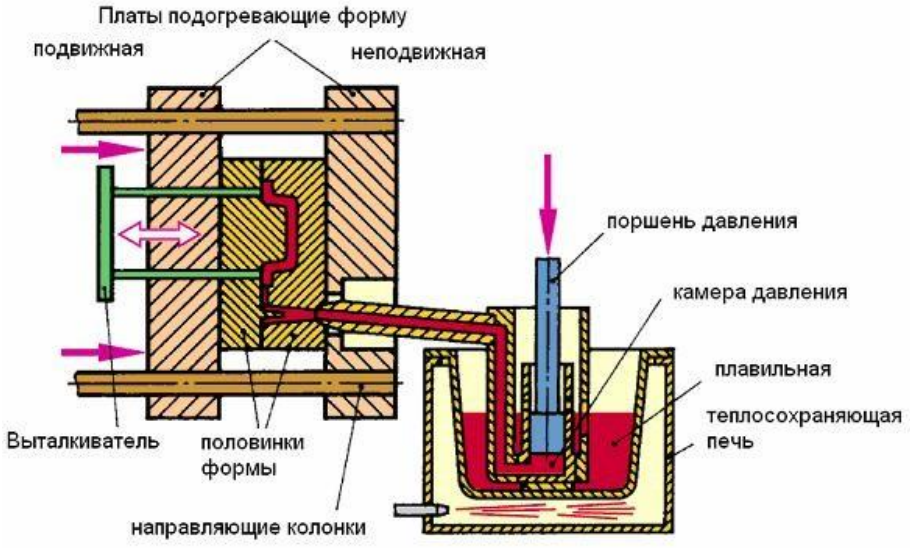


Рис. 1.6 Процесс литья под давлением с вертикальной системой давления

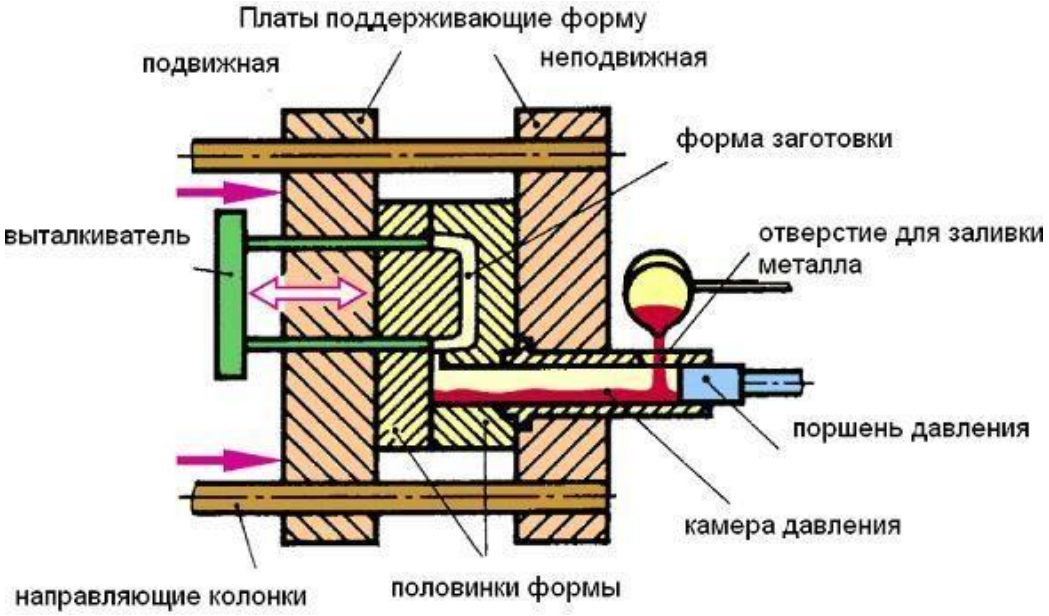


Рис. 1.7. Литье под давлением с горизонтальной системой давления

Образцы отливок из алюминиевых и цинковых сплавов, полученных литьем под давлением, показаны на рисунке 1.8. Габариты отливок: min- 300x400x100 мм min- 30x50x10 мм

Вес отливок: min- 15 кг min- 0.1 кг.



Рис. 1.8. Образцы отливок, полученных литьем под давлением

В практике наибольшее применение нашли следующие процессы литья под давлением: литье под низким давлением, литье под низким давлением с

противодавлением, литье вакуумным всасыванием, литье вакуумным всасыванием с кристаллизацией под давлением (вакуумно - компрессионное литье).

Центробежное литье. Литейная форма должна вращаться при подаче в нее расплавленного материала, который под действием центробежных сил прижимается к стенкам формы, а значит, она должна иметь осью своего вращения ось симметрии будущей отливки. Центробежные силы способствуют уплотнению материала отливки, снижая риск получения брака в виде пористости и раковин.

Эта технология позволяет получать многослойные отливки из различных материалов. Существуют и другие способы литья, например, *непрерывно циклическое литьё "намораживанием".*

Данная технология предназначена для получения полых цилиндрических литых заготовок мерной длины из специальных износостойких чугунов (СЧ - серого с пластинчатым графитом; ВЧШГ - высокопрочного с шаровидным графитом; БВХЧ - белого высокохромистого с карбидами тригонального типа), а также бронз. Она позволяет в непрерывно-циклическом режиме получать отливки с заранее заданными структурой и физико-механическими свойствами за счет направленного затвердевания и термообработки, объединенных в единый технологический процесс. Процесс литья включает заполнение стального водоохлаждаемого кристаллизатора расплавленным металлом снизу, выдержку для формирования отливки и ее извлечение из кристаллизатора вверх с одновременным доливанием новой порции расплава. Подача металла в кристаллизатор производится с использованием разового металл провода, футерованного огнеупорным материалом. Процесс выполняется в непрерывно-циклическом режиме, темп которого задается скоростью затвердевания в кристаллизаторе отливки требуемой толщины. Полуавтоматическая литейная установка позволяет в непрерывном режиме разливать без переналадки до 2500 кг металла.

1.2.3. Ковка и штамповка

1.2.3.1. Ковка

Ковка - вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью специального инструмента. На рисунке 1.9 представлена схема механической ковки.

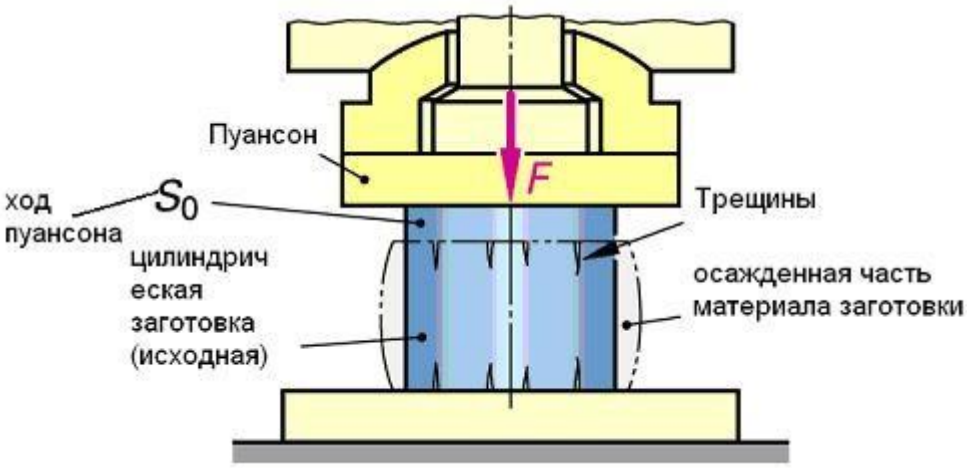


Рис. 1.9. Процесс ковки

Ковка может быть ручной и механизированной. Первая очень древняя технология, которая в современных производственных условиях не целесообразна. Вторая использует энергию прессов.

При ковке нагретую заготовку укладывают на нижнюю наковальню и верхним бойком последовательно деформируют отдельные ее участки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные бойки, а также различный подкладной инструмент.

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют кованными поковками, или просто поковками.

Ковка является единственно возможным способом изготовлением тяжелых поковок до 250 т типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т.д., поэтому в приборостроении применяется редко. Поковки меньшей массы можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Хотя штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, в единичном и мелкосерийном производствах ковка обычно экономически более целесообразна. Объясняется это тем, что при ковке используют универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовления специального инструмента штампа при небольшой партии одинаковых поковок экономически не выгодно. Исходными заготовками для ковки тяжелых крупных поковок служат слитки большой массы. Поковки средней и малой массы изготовляют из блюмов и сортового проката квадратного, круглого или прямоугольного сечения. Процесс ковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. Каждая операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом. К основным операциям ковки относятся:

- осадка,
- вытяжка,
- прошивка,

- отруба,
- гибка.

Осадка - операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения. Осадкой не рекомендуется деформировать заготовки, у которых отношение высоты к диаметру больше 2,5 так как в этом случае может произойти продольное искривление заготовки. Осаживают заготовки между бойками или подкладными плитами. Разновидностью осадки является высадка, при которой металл осаживают лишь на части длинны заготовки.

Вытяжка - операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Вытяжку производят последовательными ударами или нажатиями на отдельные участки заготовки, примыкающие один к другому, с подачей заготовки вдоль оси вытяжки и поворотами ее на 90 градусов вокруг этой оси.

При каждом нажатии уменьшается высота сечения, увеличивается ширина и длина заготовки. Общее увеличение длины равно сумме приращений за каждое нажатие, а уширение по всей длине одинаково. Если заготовку повернуть на 90 градусов вокруг горизонтальной оси и повторить вытяжку, то уширение, полученное в предыдущем проходе, устраняется, а длина заготовки снова увеличиться. Чем меньше подача при каждом нажатии, тем интенсивнее удлинение.

Однако при слишком малой подаче могут получиться зажимы. Вытягивать можно на плоских и вырезных бойках. При вытяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин. При вытяжке с круга на круг в вырезных бойках силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности образования осевых трещин. Деформация при вытяжке может быть выражена величиной уковки:

$$\text{У} = \frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{к}}}$$

где *Fн* - начальная площадь поперечного сечения,
Fк - конечная площадь поперечного сечения.

Очевидно, чем больше уковка, тем лучше прокован металл, тем выше его механические свойства. Поэтому вытяжку применяют не только для получения поковок с удлиненной осью (валы, рычаги, тяги и т.п.) но и в чередовании с осадкой - для большей уковки металла заготовки.

Вытяжка имеет ряд разновидностей.

1. *Разгонка* - операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины.

2. *Вытяжка с оправкой* - операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. Вытяжку выполняют в вырезных бойках на слегка конической оправке. Вытягивают в одном направлении к расширяющемуся концу оправки, что облегчает ее удаление

из поковки. На рисунке 1.10 показана классическая схема вытяжки листового материала.

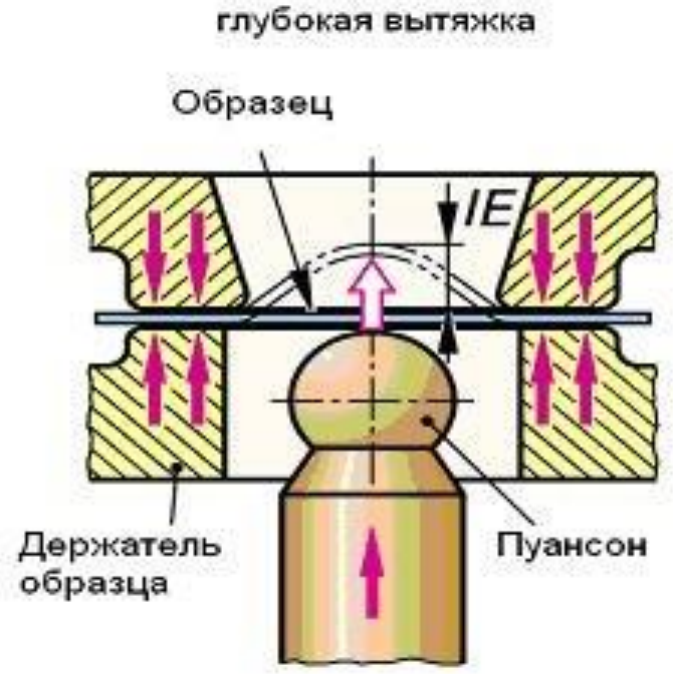


Рис. 1.10. Схема вытяжки листового материала

3. *Раскат на оправке* - операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. После каждого нажатия заготовку поворачивают относительного оправки.

Прошивка - операция получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла. Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление (глухая прошивка). Инструментом для прошивки служат прошивни сплошные и пустотелые. При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяют подкладные кольца.

Отруба - операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента - топора. Отрубу применяют для получения из заготовок большой длины несколько коротких, а также для удаления излишков металла на концах поковок.

Гибка - операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру.

Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т.п. Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в зоне изгиба, называемым утяжкой. Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Во избежание этого явления по заданному углу изгиба подбирают соответствующий радиус скругления. (см. рис 1.14)

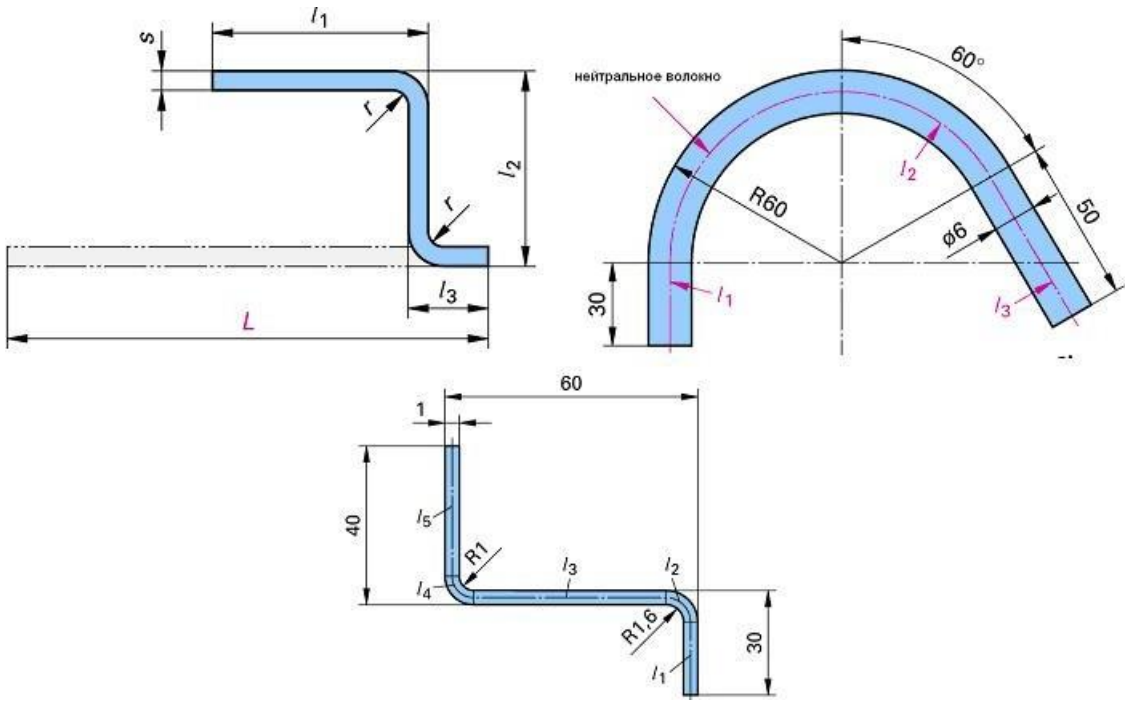


Рис. 1.11. Образцы заготовок, полученных в процессе гибки

На рисунке 1.12 показана схема процесса гибки для получения заготовки с требуемыми геометрическими параметрами, а на рисунке 1.13 показано устройство для гибки труб.

На рисунках 1.12 - 1.19 показаны схемы гибки различных исходных материалов и образцы изделий, получаемых с помощью гибки.

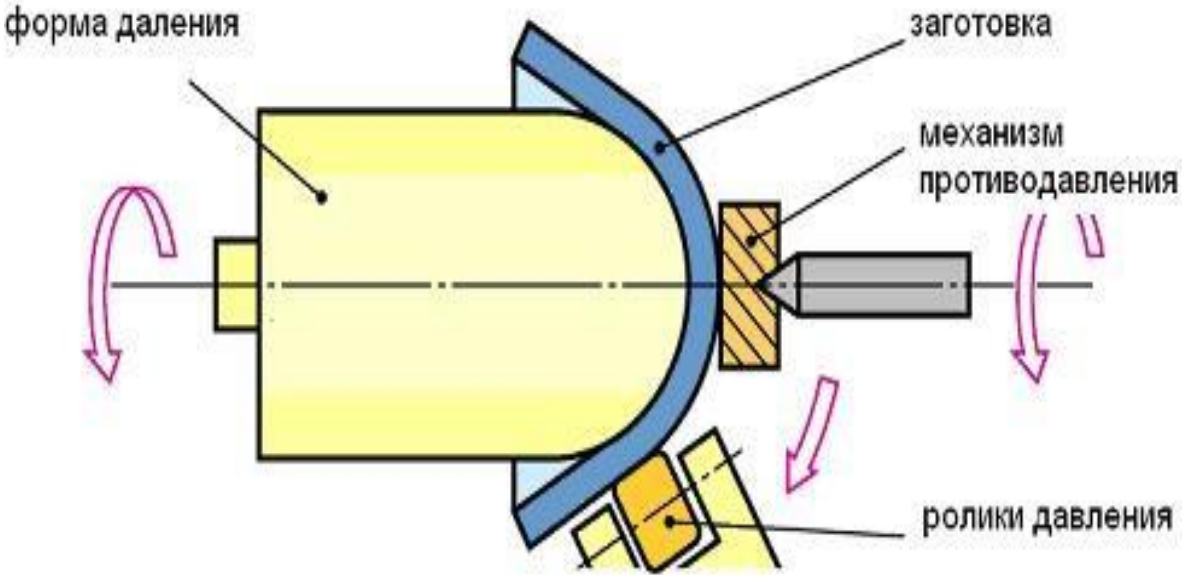


Рис. 1.12. Гибка заготовки с заданными параметрами

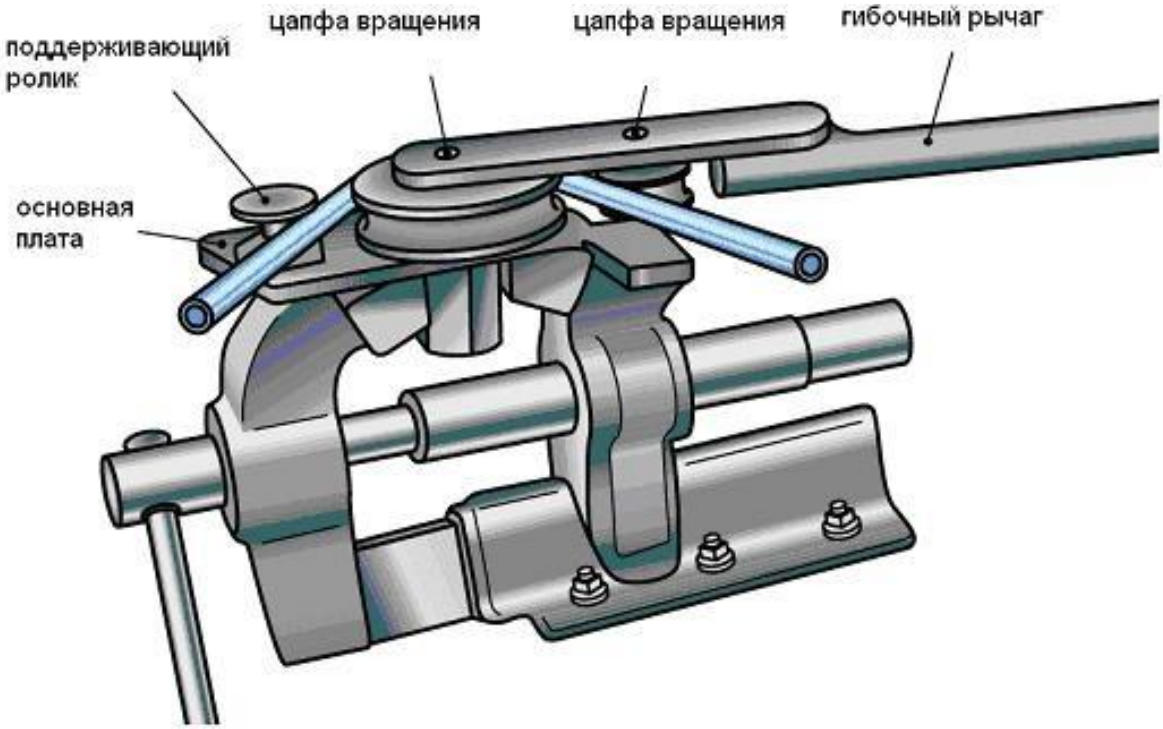


Рис.1.13. Устройство для гибки труб

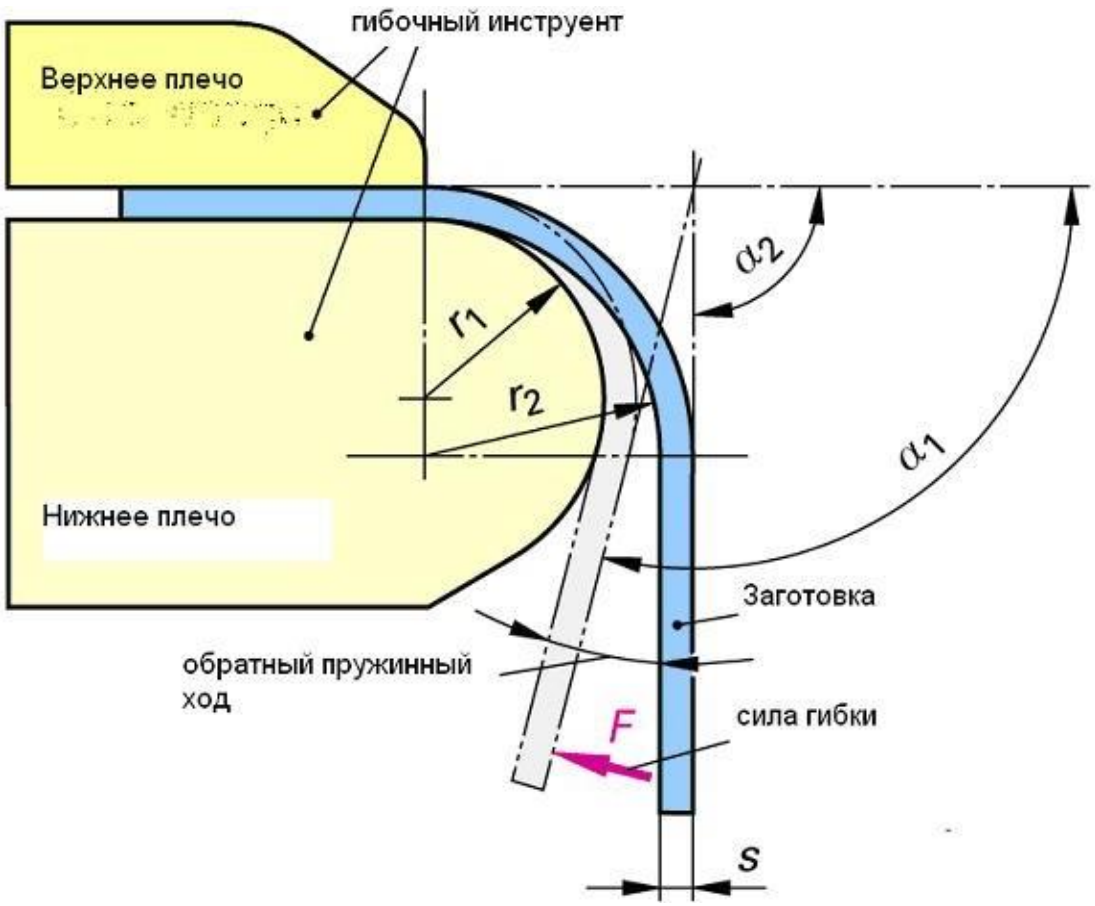


Рис. 1.14. Процесс гибки прутка

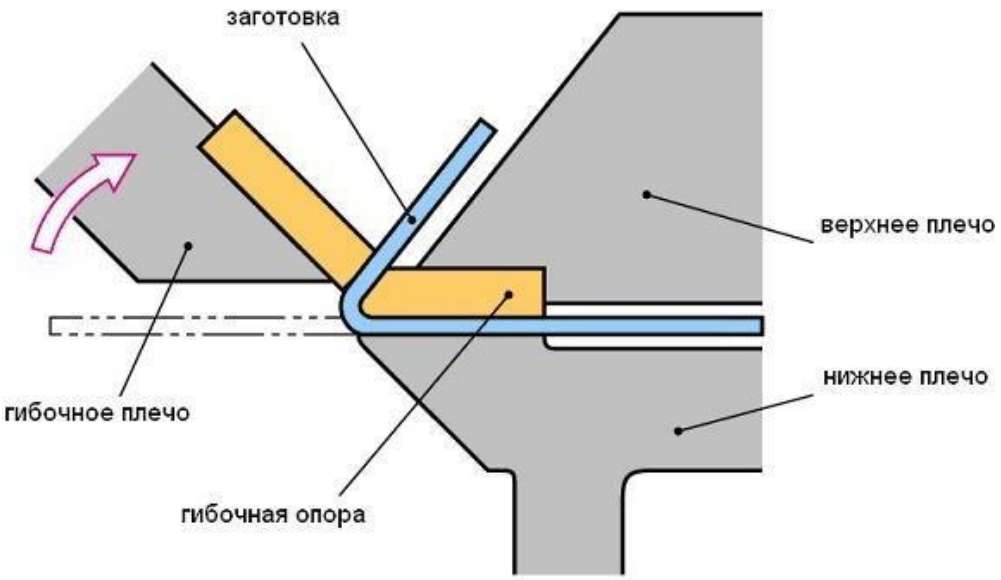


Рис. 1.15. Процесс гибки листового материала

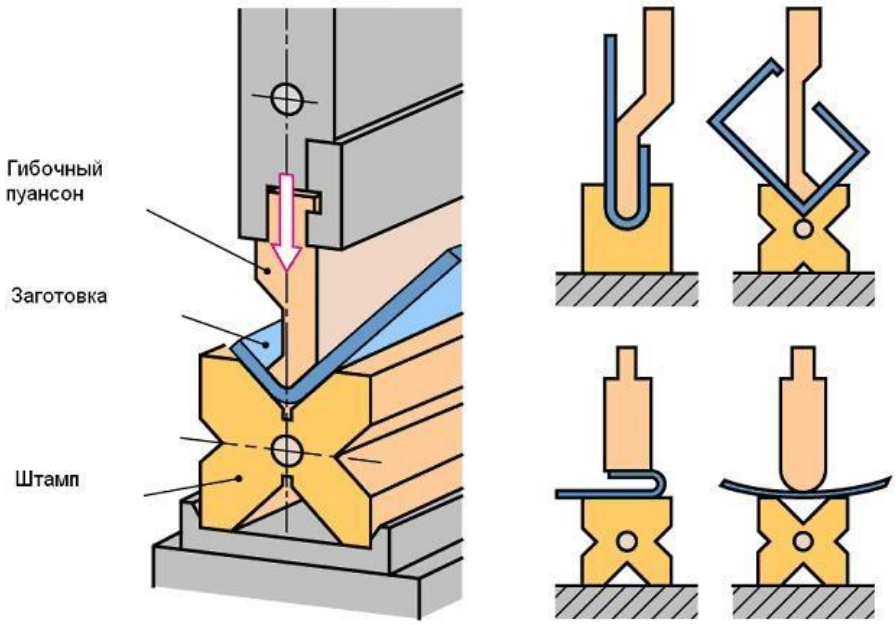


Рис. 1.16. Гибка листового материала, получение изгибов различной формы



Рис. 1.17. Результат гибки труб



Рис. 1. 18. Результат гибки

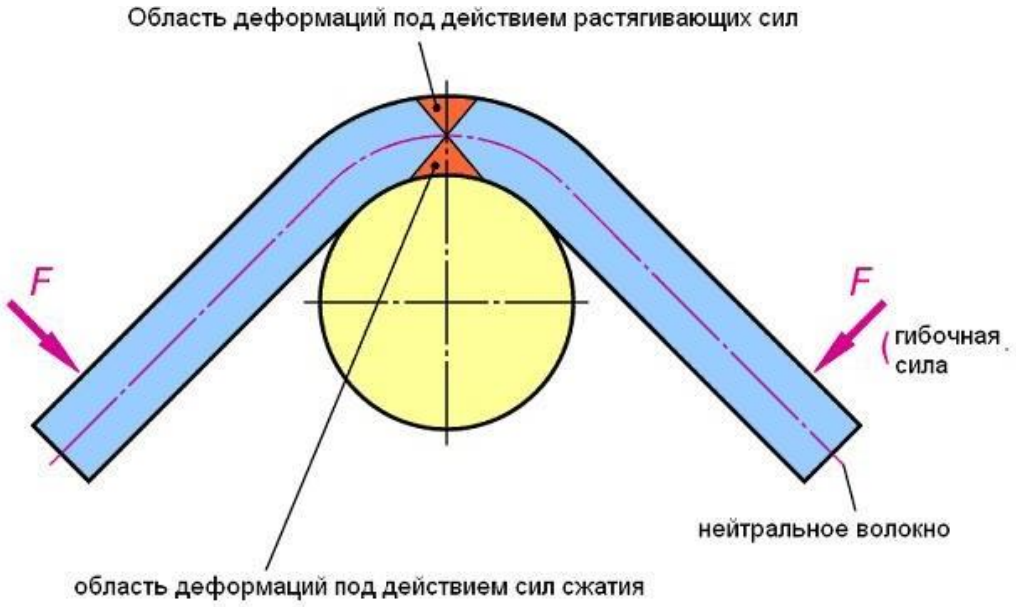


Рис. 1.19. Процесс гибки цилиндрических изделий

На рисунке 1.20 показаны схемы испытаний образцов конструкционных материалов на изгиб.

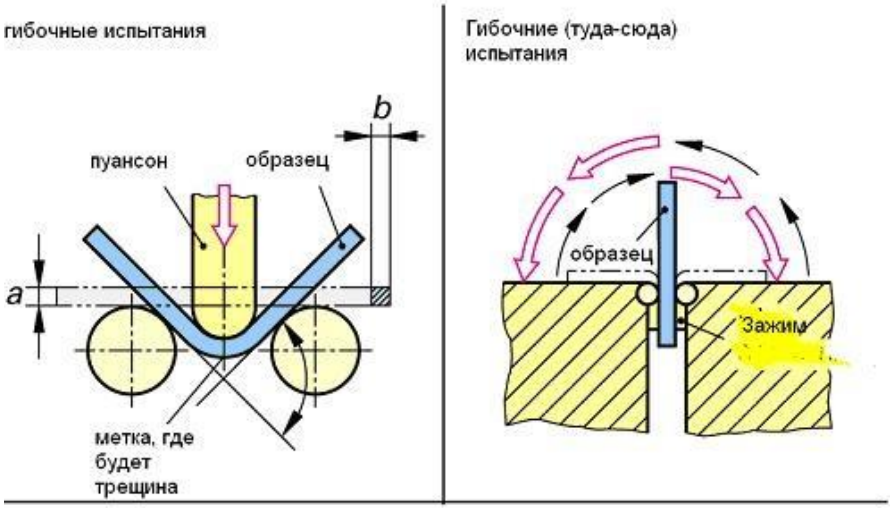


Рис. 1.20. Схемы испытаний образцов на изгиб

1.2.3.2 Штамповка

Горячая объемная штамповка - это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование изделия из нагретой заготовки осуществляется с помощью специального инструмента штампа. При этом пластическая деформация металла должна начинаться и заканчиваться при температуре выше температуры его рекристаллизации. Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации изделия (см. рисунок 1.21). В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический.

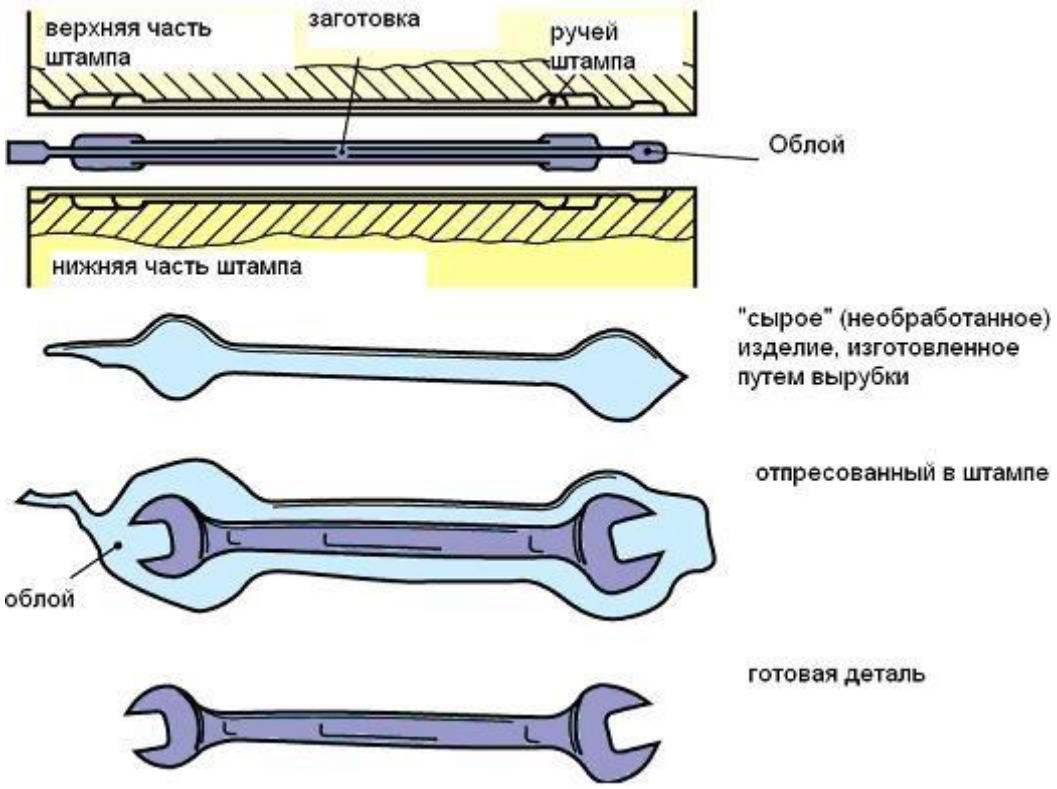


Рис. 1.21. Процесс штамповки гаечного ключа

При этом прутки разрезают на отдельные заготовки, хотя иногда штампуют из прутка с последующим отделением изделия непосредственно на штамповочной машине. Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: на кривошипных пресс - ножницах, механическими пилами, газовой резкой и т.д.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд преимуществ. Горячей объемной штамповкой можно получить изделие сложной конфигурации без напусков, что при ковке невозможно. Допуски на штампованную продукцию в 3-4 раза меньше, чем на кованную. В следствие этого значительно сокращается объем последующей обработки резанием. Штампованные изделия обрабатывают только в местах сопряжения с другими деталями, и эта обработка может сводиться только к шлифованию. Производительность штамповки значительно выше ковки.

В то же время штамп - дорогостоящий инструмент и пригоден только для изготовления какого-то одного, конкретного изделия. В связи с этим, штамповка экономически целесообразна лишь при изготовлении достаточно больших партий одинаковых изделий. Кроме того, для объемной штамповки требуются гораздо большие усилия деформирования, чем для ковки таких же изделий.

Есть два способа горячей объемной штамповки:

- штамповка в открытых штампах;
- штамповка в закрытых штампах.

Холодная штамповка.

Обычно под ***холодной штамповкой*** понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки. Однако в общем случае, холодная ***обработка давлением*** – это такая обработка, при которой пластическая деформация металла начинается при любой температуре, но заканчивается обязательно при температуре, ниже температуры его рекристаллизации. Для металлов и сплавов, применяемых при штамповке, такой процесс деформирования соответствует условиям холодного деформирования. Холодную штамповку можно разделить на:

-***объемную штамповку*** (сортового металла) и

-***листовую штамповку*** (листового металла) (см. рис. 1.22).

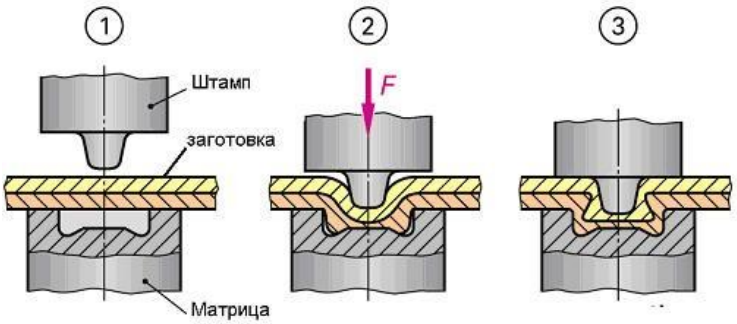


Рис. 1.22. Листовая штамповка: 1,2,3 – стадии процесса

Такое подразделение целесообразно потому, что характер деформирования, применяемые операции и конструкции штампов для объемной и листовой штамповки значительно различаются между собой. Основные разновидности холодной объемной штамповки - холодное выдавливание, холодная высадка и холодная объемная формовка. При холодном выдавливании заготовку помещают в полость, из которой металл выдавливают в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Выдавливание обычно выполняют на кривошипных или гидравлических прессах в штампах, рабочими частями которых являются пуансон и матрица. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании металл вытекает в отверстие, расположенное в донной части матрицы, в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона относительно матрицы. При обратном выдавливании направление течения металла противоположно направлению движения пуансона относительно матрицы.

При боковом выдавливании металл вытекает в отверстие в боковой части матрицы в направлении, не совпадающем с направлением движения пуансона.

Комбинированное выдавливание характеризуется одновременным течением металла по нескольким направлениям и может быть осуществлено по нескольким из рассмотренных ранее схем холодного выдавливания. Широкое распространение получила штамповка- вырубка. В сочетании с последующей гибкой она позволяет получать большое многообразие форм изделий. На рисунке 1.23, а изображена фотография гидравлического

пробивного пресса, а на рисунке 1.23, б, в, показаны образцы результатов работы пресса.

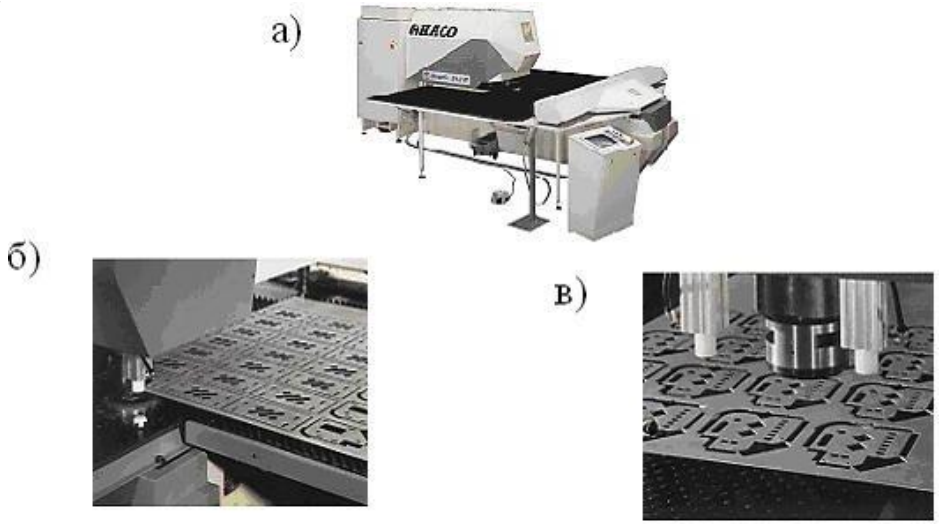


Рис 1.23. Гидравлический координатно-револьверный пробивочный пресс спи фирмы HACO (Бельгия) модели Omatic 212 RH и образцы пробивки на прессе

1.2.4. Изготовление заготовок из проката

Прокатке подвергают до 90% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Форму поперечного сечения прокатной полосы называют - ***профилем.*** Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют ***сортаментом.***

Сортовой прокат делят на профили:

-простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник);

-фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровые профили и т.д.).

Круглую и квадратную сталь прокатывают соответственно с диаметром или стороной квадрата 5-250 мм; шестигранную - с диаметром вписанного круга 6 -100мм; полосовую - шириной 10-200 мм и толщиной 4-60мм.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жесть и т.д. Расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовыми покрытиями.

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30 - 650мм с толщиной стенки 2- 160мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные - диаметром 5 - 2500мм с толщиной стенки 0.5 - 16мм из углеродистых и низколегированных сталей. К специальным видам проката - относятся колеса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки. Получение заготовок деталей из прокатных профилей сводится к отрезке от подходящего проката требуемой для заготовки его длины.

1.2.4.1. Получение заготовок из проката

Прокатка – деформирование метала вращающимися валками для изменения формы и размеров поперечного сечения и увеличения длины предварительно нагретых или холодных заготовок. Прокатке подвергается до 90% всей выплавляемой стали и большая часть известных металлов.

Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными, при этом выделяют 3 вида прокатки (рисунок 1.24):

- продольную
-поперечную
-поперечно-клиновую.

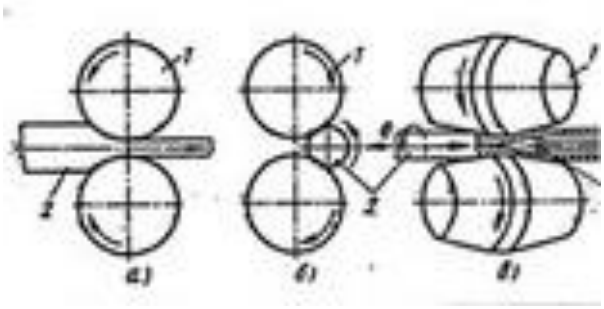


Рис.1.24. Виды прокатки

При продольной прокатке (рисунок 1.24 а) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороныи перемещается перпендикулярно осям валков.

При поперечной прокатке (рисунок 1.24 б) валки 1, вращаясь водном направлении, придают вращение заготовке 2 и одновременное.

При поперечно-винтовой прокаткевалки 1 расположены под углом, в результате чего сообщают заготовке 2 при
деформировании вращательное и поступательное движение.
В процессе прокатки металл непрерывно втягивается в зазор между валками под действием сил трения между металлом и валками.

При прокатке уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Деформация заготовки определяется относительным обжатием:

$$\varepsilon_{обж}=\frac{Ho-H1}{Ho}\cdot 100\%$$

где H_0 – начальная высота;
H_1- высота после проката.

Инструментом для прокатки является валки, которые в зависимости от прокатываемого профиля могут быть гладкими (рисунок 1.25 а) и ступенчатыми(рисунок 1.25 б).

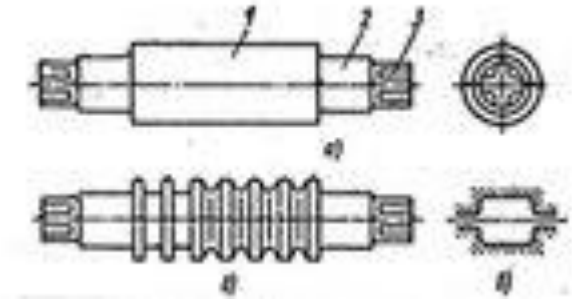


Рис.1.25. Профили валков

Ручей – вырез на боковой поверхности болта, а савок 2 ручьев образует калибр (рисунок 1.24 в). Каждая пара ручьевых валков образует несколько калибров.

Форму поперечного сечения прокатанной полосы называют профилем, а совокупность форм и размеров профилей – сортаментом. Сортовой прокат (рисунок 1.25) делят на профили простой геометрической формы (рисунок 1.25а) и прокат специальный (рисунок 1.25б).

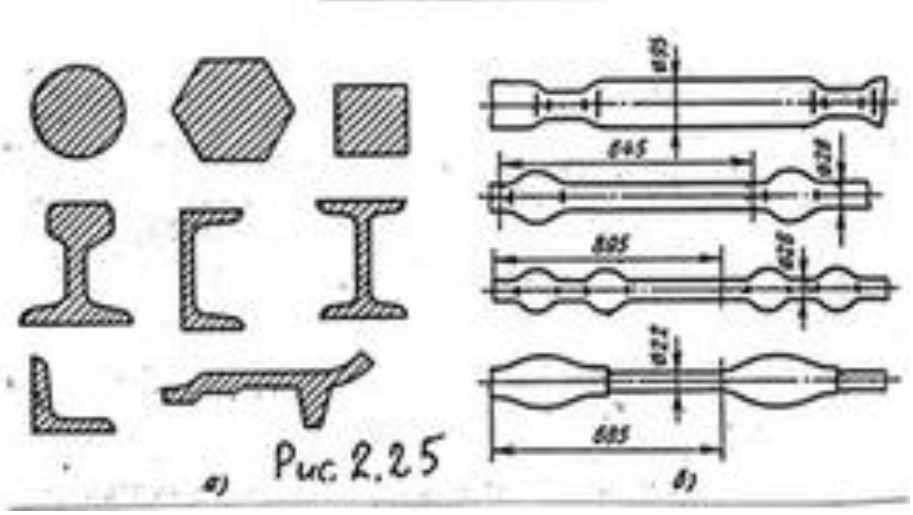


Рис. 1.25. Профили проката

К специальным видам проката относят периодические профили, т.е. профили с периодически изменяющейся формой и площади поперечного сечения вдоль оси заготовки (рисунок 1.25 б). Получают такой профиль с помощью поперечно-клиновой прокатки.

1.2.4.2. Получение заготовок прессованием

Прессование длинных изделий сложного профиля осуществляют на мощных гидравлически прессах по схемам, приведенным на рисунке 1.26.

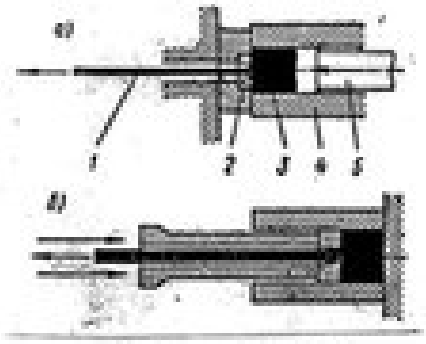


Рис.1.26. Прессование на гидравлическом прессе.

Нагретый слиток 3 (рисунок 1.26, а) цилиндрической формы помещается в полость толстостенного стального цилиндра 4, который называется контейнером пресса. С другой стороны контейнера закрепляется матрица 2, имеющая отверстие, соответствующее по форме сечению прессуемого изделия. Давление на металл подается пуансоном 5, на конце которого закреплена сменная прессшайба, которая плотно входит в полость контейнера. В результате, перемещаясь вдоль контейнера прессшайба выдавливает металлический пруток 1 через отверстие матрицы.

Прямой способ прессования. Исходным материалом при прессовании служат слитки из цветных металлов и их сплавов, никелевых и магниевых сплавов, а также слитки из стали. Следует подчеркнуть, что этим способом получают сложные профили различного сечения, длиной 25-30 мм. Такие профили показаны на рис 1.27. Этим же способом получают прутки диаметром 5-200 мм, трубы гладкие и ребристые диаметром до 400 мм при толщине стенки 1.5- 8 мм. Прутки малого диаметра получают прессованием через несколько отверстий в одной матрице.

Прессование по обратному методу (рисунок 1.26 б) применяется главным образом для получения прутков. В этом случае поршень делается полым и на его торце закрепляется матрица. Во время движения поршня слева направо матрица, выполняющая одновременно и роль прессшайбы, давит на торцевую часть слитка и металл вынужден вытекать в направлении, обратному движению штока.

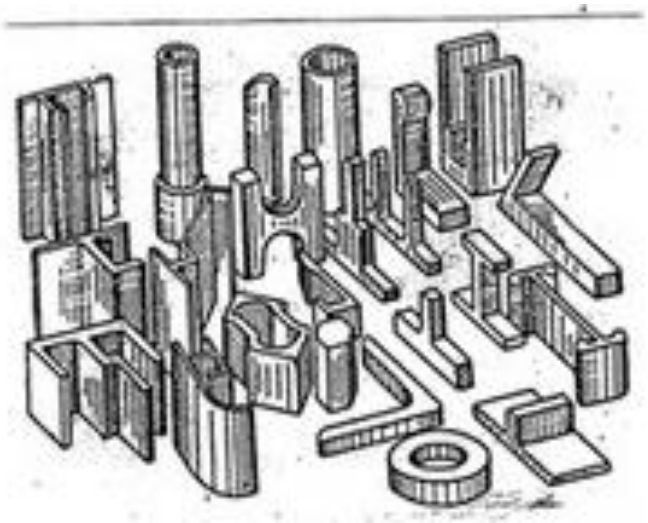


Рис.1.27. Прямой способ прессования

1.2.4.3. Получение заготовок волочением.

Волочение применяют для получения заготовок сплошных или полых деталей, имеющих постоянное поперечное сечение по всей длине.

В процессе волочения (рисунок 1.28) заготовку 2 протягивают через постоянно сужающееся отверстие в инструменте, называемое волокой 1.

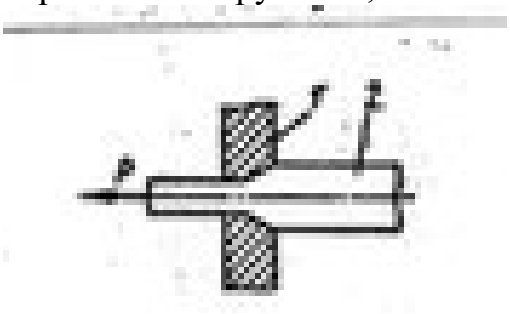


Рис.1.28. Процесс волочения

Волочение, как правило, осуществляется в холодном состоянии. Исходными заготовками служат прокатные или прессованные прутки и трубы. Волочение труб можно выполнять без оправки для уменьшения наружного диаметра, и с оправкой для уменьшения как наружного диаметра, так и толщины стенки.

Волочением обрабатывают различные сорта стали, цветных металлов и их сплавов. Сортамент изделий, изготовляемых волочением весьма разнообразен, начиная от проволоки диаметром 2-5 мкм и фасонных профилей.

1.2.4.3. Порошковая металлургия

Как известно, не только химически чистые, но и технически чистые металлы используются в промышленности чрезвычайно редко не только из-за высокой стоимости их получения, но и из-за неудовлетворенности их эксплуатационными свойствами. Например, обладая хорошей электропроводностью, металл оказывается недостаточно прочным или недостаточно твердым и т.д. Отсюда возникла необходимость в получении сплавов, которые, в зависимости от количества и соотношения компонентов обеспечивают сразу несколько необходимых эксплуатационных свойств материала. В общем случае, сплавы могут представлять собой химические соединения компонентов, механические смеси и твердые растворы замещения или внедрения. При этом каждое фазовое состояние имеет существенное ограничение как по возможности самой реализации, так и по широте диапазона изменения характеристик сплава. Кроме того, есть металлы, из которых вообще невозможно получить традиционные сплавы (медь с вольфрамом или серебро с вольфрамом). Эти обстоятельства послужили причиной создания принципиально новой технологии получения сплавов, получившей название "Порошковая металлургия". В общем случае эта технология содержит следующие типовые операции:

• Изготовление порошков из различных металлов и их сортировка по размерам.

• Перемешивание различных порошков в требуемой количественной пропорции.

• Прессование порошковой смеси.

• Спекание спрессованного материала.

Для повышения прочностных характеристик полученного материала производят повторное прессование и повторное спекание, что обеспечивает прочностные характеристики, сопоставимые с характеристиками традиционных сплавов и даже превышающими их. Каждая из перечисленных типовых операций имеет специфические особенности их реализации, но главным является то, что порошковая металлургия позволяет обеспечивать любое количество компонентов в сплаве и любое их соотношение между собой. Это позволяет в широких пределах варьировать свойства сплава. Кроме того, только порошковая металлургия позволяет получать так называемые пористые сплавы с широким диапазоном пористости. Для этого в порошковую смесь перед ее прессованием добавляют необходимое количество порошка требуемой зернистости из так называемого "летучего" материала, который при спекании испаряется, оставляя на своем месте поры. Пористые сплавы нашли широчайшее применение в технике, в частности, для изготовления металлических фильтров

Порошковую металлургию применяют для таблетирования и брикетирования сухих порошков из различных материалов. Например, порошков меланина, мочевины, термозатвердевающих, гидрохлорида для очистки воды, соли для опреснителей, спекающихся материалов для тормозных накладок, металлических порошков, модификаторов и добавок для металлургии, отходов в порошках и т.д.

Это оборудование используется для получения твёрдых металлов и металлических сплавов. На следующем рисунке показаны некоторые изделия порошковой металлургии.

1.3. Точность механической обработки и методы ее обеспечения

Для получения готовой детали заготовку можно обрабатывать, применяя механическую обработку, электрофизические методы, а также их комбинации.

1.3.1. Точность механической обработки и методы ее обеспечения

Под ***точностью изготовленной детали*** понимается степень ее соответствия детали, спроектированной конструктором и представленной в виде рабочего чертежа. Требования к геометрической точности размеров, формы, взаимного расположения поверхностей и их шероховатости назначает конструктор, исходя из условий «работы» деталей в процессе эксплуатации изделия. Задача технолога состоит в том, чтобы, проектируя технологический процесс изготовления детали, назначить такие методы и режимы обработки, выбрать такое оборудование и инструмент, которые

обеспечивали бы выполнение требований конструктора.

В связи с тем, что на всех этапах технологического процесса изготовления изделия неизбежны те или иные погрешности, достижение абсолютной точности невозможно, хотя в результате совершенствования технологии происходит постоянное приближение точности обработки к абсолютной. Так, если в недавнем прошлом точно обработанными считались детали с допусками в пределах нескольких сотых долей миллиметра, то сегодня в точном машино- и приборостроении требуется изготовление деталей с допусками в несколько микрометров и даже десятых долей микрометра. Например, при изготовлении плунжерных пар зазор в сопряжении составляет 2-3 мкм, что обуславливает необходимость обработки сопрягаемых деталей с точностью 1-1,5 мкм. Ряд деталей теодолитов обрабатывается с точностью, обеспечивающей допустимые колебания в зазоре в пределах 0,6-1 мкм. В узлах гироскопических приборов детали обрабатываются с отклонениями 0,2-0,4 мкм.

Важное значение имеет повышение точности исходных заготовок, что снижает трудоемкость механической обработки, уменьшает размеры припусков на обработку деталей и приводит к экономии металла. Следует подчеркнуть, что получение точных и однородных заготовок на всех операциях технологического процесса является одним из непременных условий автоматизации обработки и сборки. Повышение точности механической обработки устраняет пригоночные работы на сборке, позволяет реализовывать принцип полной взаимозаменяемости деталей и узлов, организовывать точную сборку, что сокращает ее трудоемкость.

Постоянно возрастающие требования к точности деталей продиктованы тем, что их высокая точность определяет повышение качества, надежности и долговечности изделий. Например, с повышением точности обработки деталей шарикоподшипников и уменьшением зазора между деталями с 20 до 10 мкм срок службы подшипника увеличивается с 740 до 1200 часов.

Вместе с тем, при нормировании, т. е. при назначении требований к точности обработки деталей, конструктор должен учитывать то обстоятельство, что излишне высокая точность деталей и приборов в целом, без повышения их функциональных качеств, приводит к увеличению трудоемкости и стоимости изготовления изделия.

Типовой график зависимости трудоемкости (***T***) и себестоимости обработки ***(C)*** детали от ее точности (величины допуска ***IT)*** приведен на рис. 1.62. Отсюда видно, что с уменьшением величины допуска резко возрастает как трудоемкость, так и себестоимость ее технологического обеспечения. Причем себестоимость возрастает интенсивнее трудоемкости.

В этой связи перед конструктором в процессе нормирования точности стоит задача определения ее оптимального значения. Решается она на основе анализа условий работы изделия и в нем той или иной детали с учетом экономики ее изготовления и последующей эксплуатации. Теоретические

расчеты, как правило, весьма сложны, так как требуют учета большого числа взаимозависимых факторов. Например, кинематики устройства или сборочной единицы, а в ней - детали; динамических явлений; условий трения и изнашивания; подачи и распределения смазки; воздействия климатических условий и многих других факторов. По этой причине теоретические расчеты в отдельных случаях просто неосуществимы, а в других - столь неточны, что требуют экспериментальной проверки. Поэтому на практике для определения оптимальной точности повсеместно используется экспериментальный путь. Пример его применения иллюстрируется графиком, приведенным на рис. 1.29. На нем кривая $\boldsymbol{C_1}$ отражает изменение эксплуатационных расходов за установленный срок эксплуатации изделия, вызываемых утечкой жидкости и трением в плунжерной паре и влияющих на КПД изделия, от величины допуска на зазор $\boldsymbol{IT_з}$.Кривая $\boldsymbol{C_2}$ характеризует изменение себестоимости изготовления плунжерной пары от той же величины. Затем, складывая геометрически обе кривые, получают результирующую кривуюC, минимум которой соответствует оптимальной величине допуска на зазор $IT_{з.опт}$.

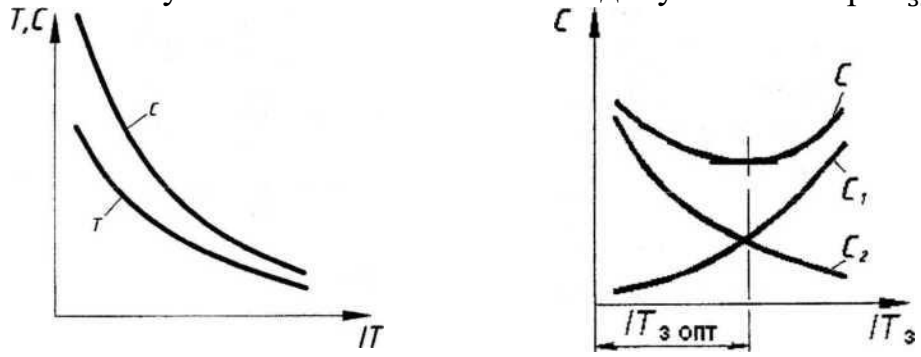


Рис. 1.29. Типовой график зависимости Рис. 1.63. Зависимость эксплуатационных трудоемкости (7) и себестоимости (С) детали расходов от величины допуска на зазор от ее точности (величины допуска *IT).*

На основе экспериментальных исследований, подобных вышеприведенному, а также в результате сбора и систематизации материалов по точности и обобщению данных результатов большого числа эксплуатационных испытаний приборов создаются нормативы по определению и нормированию конструктором точности изготовления и сборки того или иного типа для различных условий эксплуатации.

Аналогичным образом создаются нормативные материалы по технологическому обеспечению технологом заданной конструктором обработки и сборки деталей приборов.

1.3.2. Методы обеспечения точности механической обработки

Подавляющее число деталей, точность изготовления которых определяет эксплуатационные показатели прибора, подвергаются механической обработке. При этом заданная точность в процессе механической обработки на станках может быть достигнута двумя

принципиально различными методами:

- методом пробных ходов и промеров;
- методом автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках.

1.3.2.1. Метод пробных ходов и промеров

Схема, поясняющая обработку этим методом, приведена на рис. 1.30.

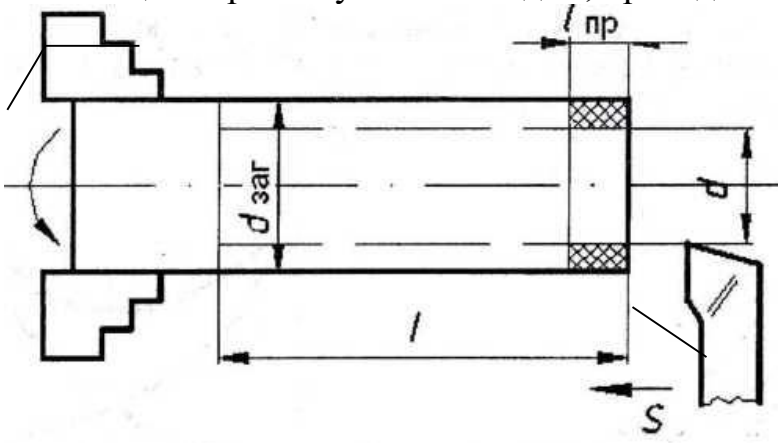


Рис.1.30. Метод пробных проходов

В процессе наружного обтачивания заготовки 1, установленной в патроне 2 токарного станка, необходимо получить диаметральный размер ***d*** с заданным допуском на длине ***l.*** Для этого к обрабатываемой поверхности заготовки подводят резец 3 и на ее коротком участке $\boldsymbol{l_{пр}}$. снимают пробную стружку. После этого станок останавливают и с помощью измерительных средств определяют полученный размер. По результатам измерений вносят поправку в положение инструмента, которую отсчитывают по делениям лимба станка. Затем вновь производят пробную обработку участка заготовки, измеряют полученный размер и при необходимости вносят новую поправку в положение инструмента. Подобные пробные проходы и промеры производят до тех пор, пока не будет достигнут размер, заданный чертежом (***d***). После этого осуществляется обработка заготовки на всю требуемую длину ***l*** Размеры участка для пробной стружки ($\boldsymbol{l_{пр}}$) определяются применяемым измерительным средством. При обработке следующей заготовки всю процедуру установки инструмента методом пробных ходов и промеров повторяют.

При реализации метода пробных ходов и промеров часто применяют разметку. В этом случае на поверхность исходной заготовки с помощью специальных инструментов (чертилок, штангенрейсмусов и др.) наносят тонкие линии, соответствующие контуру будущей детали, положение центров будущих отверстий или контуры выемок и окон.

В процессе последующей обработки рабочий стремится совместить траекторию перемещения режущего лезвия инструмента с линией разметки на заготовке и обеспечить тем самым необходимую форму обрабатываемой поверхности.

Метод пробных ходов и промеров имеет следующие достоинства:

- возможность точной обработки на неточном оборудовании за счет высокой квалификации рабочих;
- исключение влияния износа инструмента на точность обработки партии заготовок;
- возможность точной обработки деталей из малоточных заготовок;
- исключение необходимости изготовления специальной оснастки при обработке по разметке.

Вместе с тем, методу пробных ходов и промеров свойственны существенные недостатки:

- зависимость точности обработки от квалификации и внимания рабочего;
- зависимость достигаемой точности от минимальной толщины срезаемого слоя материала при резании;
- низкая производительность обработки из-за больших затрат времени на пробные ходы, промеры и разметку; высокая себестоимость обработки детали в результате низкой производительности обработки в сочетании с высокой квалификацией рабочего, требующей повышенной оплаты труда.

Метод пробных ходов и промеров, как правило, используется в единичном и мелкосерийном производствах, а также в ремонтных и инструментальных цехах. В условиях крупносерийного и массового производства метод пробных ходов и промеров применяется главным образом при шлифовании, что связано с интенсивным износом и "потерей размера" абразивных шлифовальных кругов.

1.3.2.2. Метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках

Сущность этого метода заключается в том, что при обработке партии заготовок станок предварительно настраивается таким образом, чтобы требуемая точность обеспечивалась автоматически, практически независимо от квалификации и внимания рабочего.

Схемы, поясняющие процесс предварительной настройки фрезерного и токарного станков при методе автоматического получения размеров, приведены на рис. 1.31а и 1.31.б.

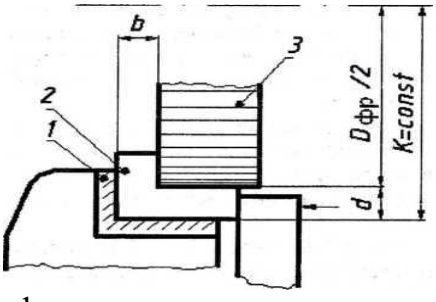


Рис. 1.31а. Настройка фрезерного станка при методе автоматического получения размеров.

Так, при фрезеровании заготовки ***2*** на размеры ***a*** и ***b*** (рис 1.65) стол фрезерного станка предварительно устанавливают по высоте таким образом, чтобы опорная поверхность неподвижной губки тисков ***1*** отстояла от оси вращения фреза ***3*** на расстоянии $k = \frac{D_{фр}}{2} + a$. Поперечным движением стола станка боковую поверхность фрезы удаляют от вертикальной поверхности неподвижной губки тисков на расстояние ***b.***

Эту процедуру предварительной настройки станка осуществляют по методу пробных ходов и промеров или с помощью установа и щупа. По завершению такой предварительной настройки осуществляют обработку всей партии заготовок без промежуточных промеров (исключая выборочные контрольные промеры) и без дополнительных перемещений стола фрезерного станка в поперечном и вертикальном направлениях. Если принять, что износ фрезы отсутствует (идеализированный случай), то в процессе обработки размеры ***к*** и ***b*** остаются неизменными, а поэтому точность размеров ***a*** и ***b*** сохраняется одинаковой для всех заготовок, обработанных с данной настройкой станка. На практике в силу неизбежного износа режущего инструмента точность обработки партии заготовок не будет оставаться неизменной, поэтому при данном методе для обеспечения заданной точности обработки партии заготовок необходимо периодически осуществлять поднастройку станка с целью компенсации линейного износа инструмента.

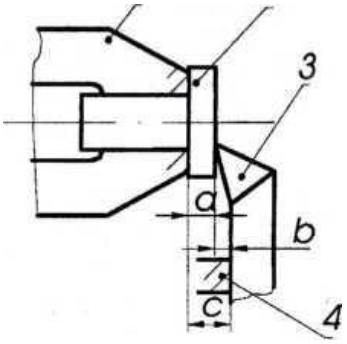


Рис. 1.31б. Настройка токарного станка при методе автоматического получения размеров

Аналогичным образом осуществляется настройка токарного станка при подрезке торца (рис. 1.31 б). Размер ***a*** заготовки определяется расстоянием ***C*** от торца зажимного приспособления ***1*** до поверхности упора ***4***, ограничивающего перемещения подрезного резца ***3***, а также расстоянием ***b*** от поверхности упора ***4*** до вершины режущего лезвия резца.

Таким образом, при реализации метода автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках задача обеспечения заданной точности обработки переносится с рабочего-станочника на наладчика, выполняющего предварительную настройку станка, на инструментальщика, изготавливающего специальные приспособления, и на технолога, назначающего технологические базы и размеры заготовки, а

также определяющего метод ее установки и закрепления.

Метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках имеет следующие достоинства:

– высокая производительность обработки за счет исключения затрат времени на промежуточные проходы и промеры, а также на разметку заготовок;

– высокая точность обработки при относительно низкой квалификации рабочего-станочника;

– низкая себестоимость обработки за счет снижения производственных затрат.

В качестве недостатка этого метода следует отметить зависимость точности обработки партии заготовок от износа режущего инструмента.

Метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках широко используется в серийном и массовом производствах. Применение этого метода в условиях мелкосерийного производства ограничивается соображениями экономического характера: не окупаемость затрат на настройку станков, на изготовление заготовок повышенной точности, на изготовление специальной оснастки и инструмента, на тщательную подготовку производства, на подробную разработку технологического процесса.

При технологическом обеспечении заданной точности различают ***экономическую и предельно достижимую точность***, обеспечиваемые тем или иным методом обработки. Под экономической точностью понимают такую, которую можно получить при обычных условиях выполнения операции (оптимальные режимы резания, нормальные точность и состояние оборудования, инструмента и приспособлений; использование рабочих с квалификацией, соответствующей единому тарифно-квалификационному справочнику). Под предельно достижимой точностью понимают такую, которая обеспечивается при наилучшем состоянии оборудования, инструмента и приспособлений, при заниженных режимах резания с использованием рабочих наивысшей квалификации. В справочниках по режимам резания приводятся режимы экономической точности. В связи с тем, что при любом виде обработки и, в частности, при механической обработке неизбежны погрешности, то для технологического ее обеспечения различными методами и правильного построения технологического процесса необходимо знать эти погрешности и причины, их вызывающие.

1.4. Погрешности механической обработки и анализ причин их вызывающих

1.4.1. Базы и опорные точки

Для правильной работы каждого изделия необходимо обеспечить определенное взаимное расположение его деталей и узлов. При обработке заготовок на станках они также должны быть правильно ориентированы относительно механизмов и узлов станков, определяющих траектории

движения подачи обрабатывающих инструментов (направляющих суппортов, фрезерных и резцовых головок, упоров, копировальных устройств и др.). Погрешности формы и размеров обработанных заготовок определяются отклонениями положений режущих кромок и заготовок от траектории заданного формообразующего движения. Задачи взаимной ориентировки деталей и сборочных единиц в изделиях при их сборке и заготовок на станках при изготовлении деталей решаются их базированием.

В общем случае базированием называется придание заготовке или другому изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ 21495-76). Применительно к проектированию или сборке под базированием понимают придание детали или сборочной единице требуемого положения относительно других деталей изделия. При механической обработке заготовок на станках базированием принято считать придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траектории движения подачи обрабатывающего инструмента.

Для выполнения технологической операции требуется не только осуществить базирование обрабатываемой заготовки, но также необходимо обеспечить ее неподвижность относительно приспособления на весь период обработки, гарантирующую сохранение неизменной ориентировки заготовки и нормальное протекание процесса обработки. В связи с этим при установке заготовок в приспособлениях решаются две различные задачи: ориентировка, осуществляемая базированием, и создание неподвижности, достигаемое закреплением заготовок. Несмотря на различие этих задач, они решаются теоретически одинаковыми методами, т. е. посредством наложения определенных ограничений (связей) на возможные перемещения заготовки (механической системы) в пространстве.

Известно, что для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве необходимо лишить его шести степеней свободы: трех поступательных перемещений вдоль осей координат и трех вращений вокруг указанных осей. Это достигается наложением связей. Под связями подразумеваются ограничения позиционного (геометрического) или кинематического характера, накладываемые на движение точек рассматриваемого тела (заготовки или детали). В соответствии с характером ограничений различают позиционные (геометрические) связи, ограничивающие перемещения, и кинематические связи, ограничивающие скорости. В технологии приборостроения приходится иметь дело, главным образом, с позиционными связями, не зависящими от времени и называемыми, поэтому, стационарными позиционными связями.

Для ориентировки призматического тела в пространстве необходимо сделать следующие.

1. Соединить три точки его нижней поверхности, не лежащие на общей прямой, двусторонними позиционными связями с плоскостью XOY прямоугольной системы координат (рис. 1.32).

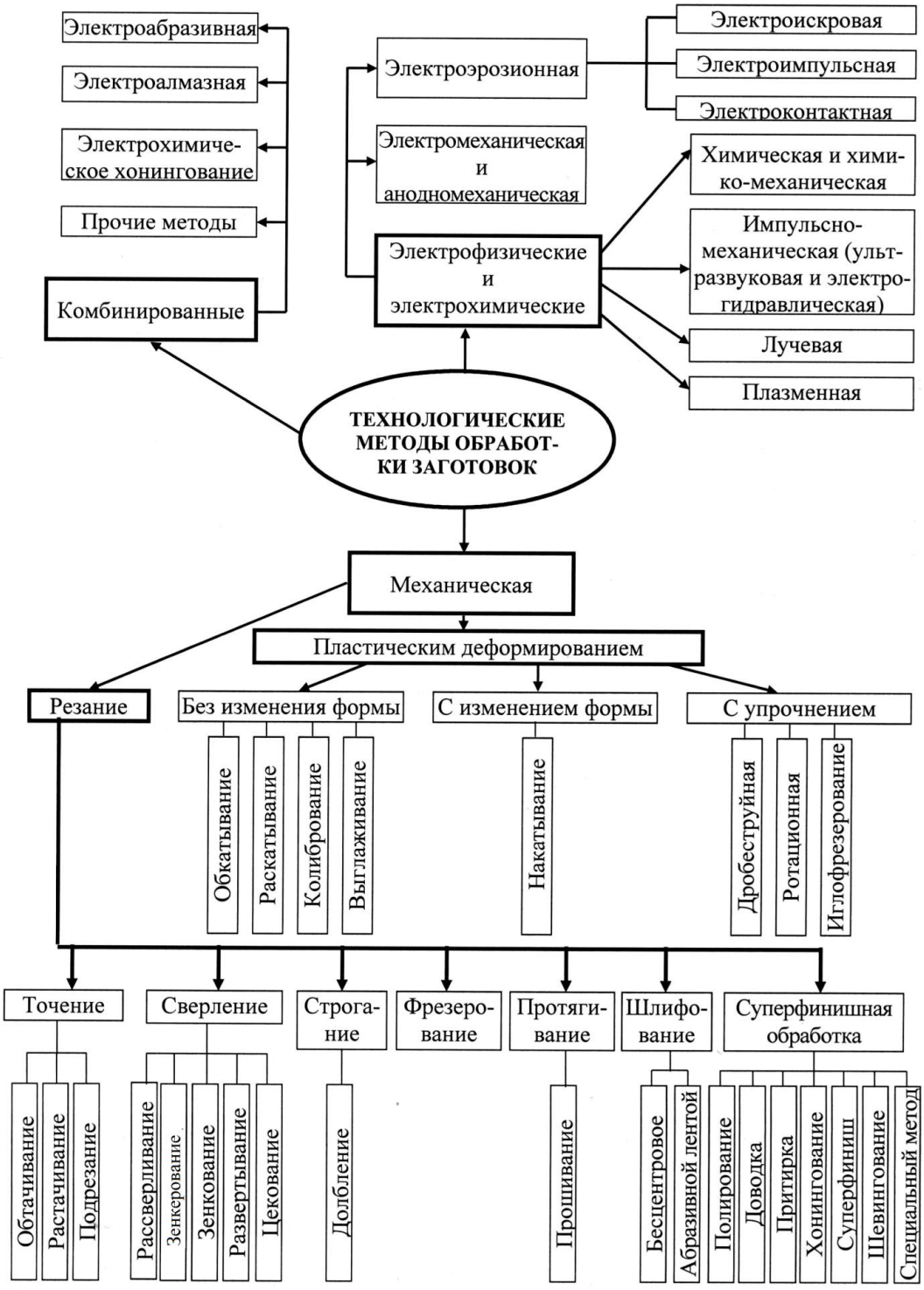


Рис.1.31. Условная классификация методов обработки заготовок

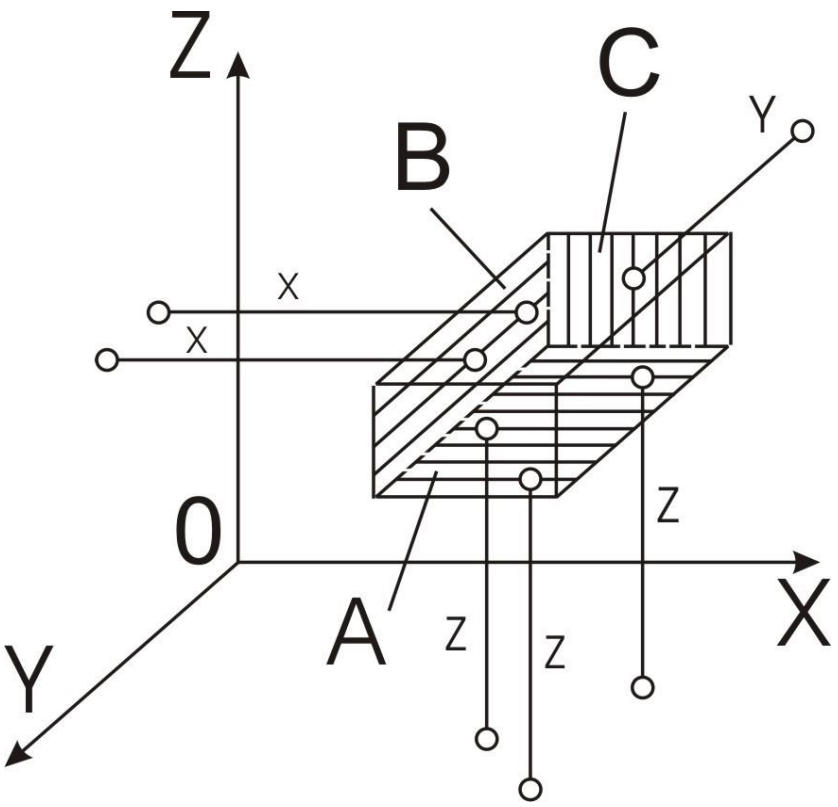


Рис. 1.32. Ориентировка призматического тела в пространстве

При этом двусторонние связи, символизируемые координатами "z"; могут быть представлены в виде недеформируемых стержней, сохраняющих, однако, способность скользить по плоскости XOY вдоль осей OX и OY, не отрываясь от нижней плоскости A призматического тела. В результате призматическое тело лишается трех степеней свободы, т. е., в частности, оно теряет возможность поступательного движения вдоль оси OZ и вращательного движения вокруг осей OX и OY.

2. Для лишения тела еще двух степеней свободы, т. е. лишения возможности перемещений вдоль оси OX и поворотов вокруг оси OZ, необходимо соединить его боковую поверхность двумя двусторонними связями (координатами "x") с плоскостью YOZ.
3. Для полной ориентировки тела в пространстве необходимо лишить его шестой степени свободы, т. е. возможности перемещения вдоль оси OY; для этого следует соединить поверхность C одной двухсторонней связью "y" с плоскостью XOZ. В рассмотренном случае недеформируемые стержни (координаты x, y, z) представляют собой двусторонние "идеальные связи", число которых (шесть) соответствует числу степеней свободы, отбираемых у тела при наложении связей. Шесть наложенных двусторонних позиционных связей обеспечивают заданную ориентировку тела относительно системы координат OXYZ и фиксирование тела в данном положении. Изображенное на рис. 1.34 призматическое тело с наложенными на него двусторонними связями представляет собой по

терминологии теоретической механики несвободную механическую систему. Несвободной называется механическая система (твердое тело), на движения точек которой наложены геометрические (позиционные) или кинематические связи. Примером двусторонней связи (рис. 1.35, а) может служить связь абсолютно гладкого шара, расположенного между двумя абсолютно гладкими плоскостями (при отсутствии сил трения в точках контакта шара с этими плоскостями). Очевидно, что контакт точек А и С плоскостями исключает возможность его движения в направления оси OZ в обе стороны.

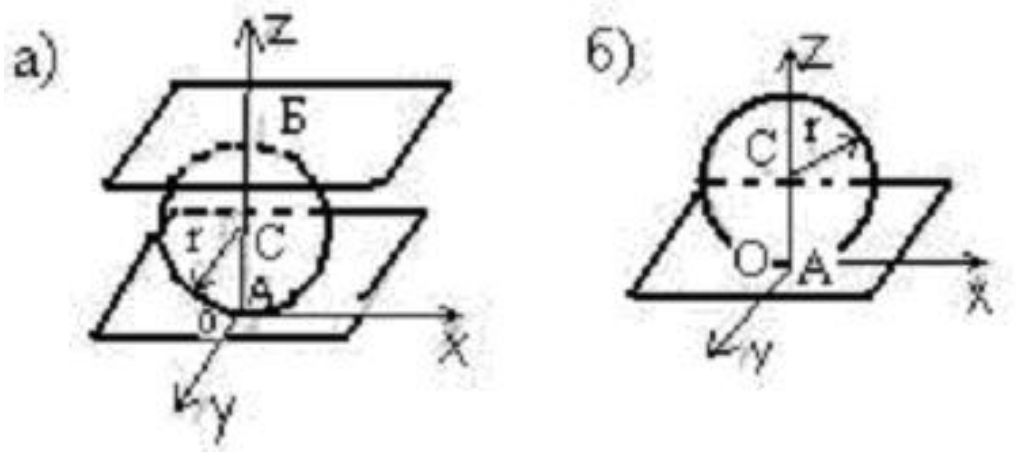


Рис. 1.33. Схема двусторонней (а) и односторонней (б) связей

При замене координат x, y, z (рис. 1.32) опорными точками (рис. 1.34) положение тела относительно выбранной системы координат остается полностью определенным.

Опорные точки здесь отображают шесть идеальных связей (т. е. связей без трения), которые в данном случае являются односторонними и лишают тело шести степеней свободы. Пограничная конфигурация реализуется в приспособлениях созданием усилий прижима при закреплении заготовок. Рассматриваемые ранее позиционные связи являются идеальными связями или связями без трения.

Реальные связи, возникающие при базировании, всегда являются неидеальными.

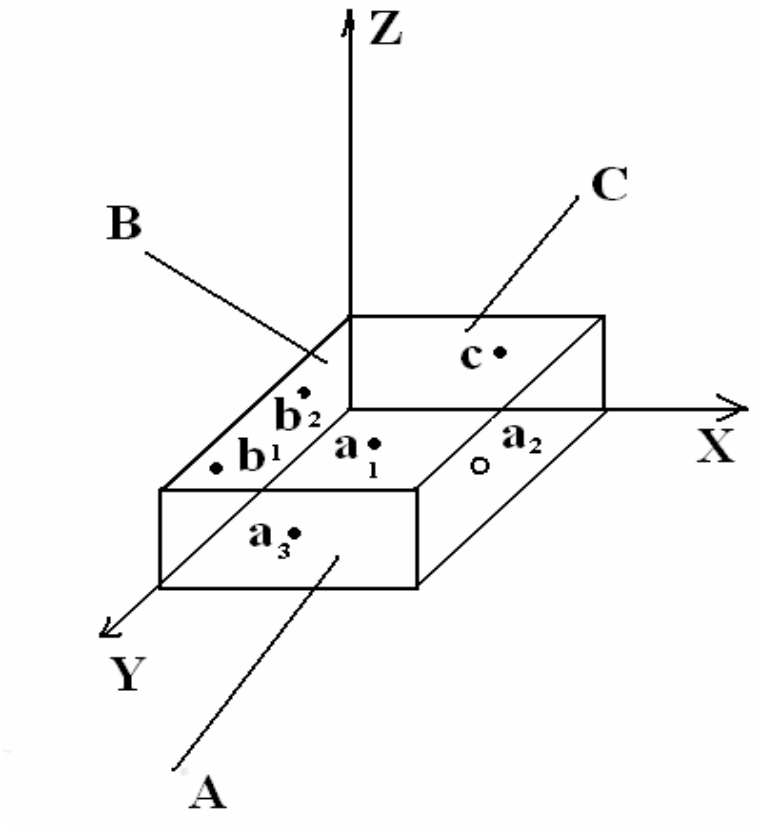


Рис.1.34. Реальная ориентация призматического тела в системе координат

1.4.2. Понятие о базах

Поверхности заготовок или деталей, используемые при базировании, называют базами. В зависимости от числа идеальных опорных точек, с которыми база находится в контакте, и, следовательно, в зависимости от числа отнимаемых при этом степеней свободы у призматических заготовок и деталей различают установочную базу А, находящуюся в контакте с тремя опорными точками, направляющую базу В, находящуюся в контакте с двумя опорными точками, и упорную базу С, имеющую контакт с одной опорной точкой (см. рис. 1.35).

Каждая из названных баз определяет положение заготовки относительно одной из плоскостей системы координат в направлении, перпендикулярном к этой базе, т. е. в направлении одной из координатных осей. Очевидно, что для полной ориентировки заготовки в приспособлении необходимо использовать комплект из всех трех баз.

Для повышения точности и надежности ориентировки заготовки и детали в качестве установочной базы принимают поверхность с наибольшими размерами, позволяющую расположить три опорные точки, лежащие не на одной прямой, на значительном расстоянии друг от друга; в качестве направляющей базы с той же целью принимают самую длинную

поверхность. Для упорной базы может быть использована поверхность любых (даже самых малых) размеров при условии достаточно хорошего ее состояния и постоянства формы (отсутствие литников, заусенцев, литейных швов, линий разъема штампов и т. п.). В связи с тем, что опорные точки создают односторонние связи, которые накладывают ограничения на перемещения тел только тогда, когда перемещения исходят из пограничных конфигураций, возникающих обычно при приложении сил, опорные точки приспособлений дополняются прижимами, обеспечивающими постоянство контакта баз с опорными точками. При этом количество прижимов в приспособлении обычно не изменяет числа созданных связей и в расчет требуемых опорных точек не входит.

Для ориентировки длинного цилиндрического тела (I>d) в пространстве необходимо соединить его цилиндрическую поверхность А двумя двусторонними связями - координатами z с плоскостью XOY и двумя связями - координатами x с плоскостью YOZ (рис. 1.37), лишая этим тело четырех степеней свободы (возможности перемещения вдоль оси OX и вдоль оси 0Z, а также поворотов вокруг оси OX и вокруг оси 0Z).

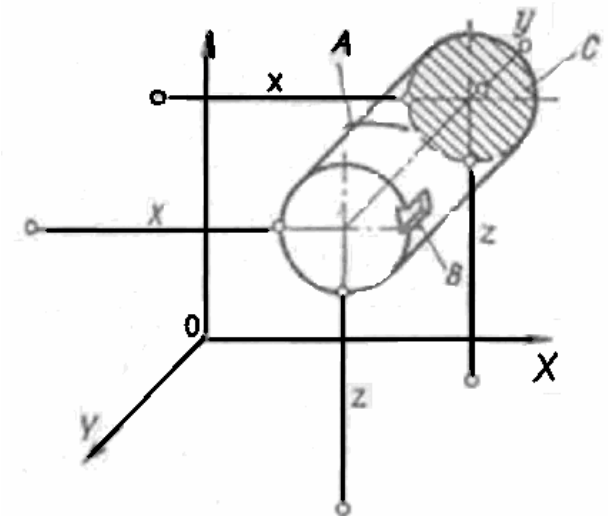


Рис.1.35. Ориентировка длинного цилиндрического тела в пространстве

Для устранения возможности перемещения тела вдоль оси OY необходимо соединить его торец С двусторонней связью - координатой у с плоскостью XOZ. Для лишения тела шестой степени свободы (возможности поворотов вокруг собственной оси) должна быть предусмотрена шестая двусторонняя связь в виде опорной точки, располагаемой на поверхности шпоночной канавки В. В реальных условиях базирования четыре двусторонние связи заменяются четырьмя опорными точками, находящимися в контакте с цилиндрической поверхностью А, называемой двойной направляющей базой. Торцовая поверхность С, на которой располагается пятая опорная точка, называется опорной базой, а шпоночная канавка В, являющаяся шестой опорной точкой, которая заменяет шестую двустороннюю связь, называется второй опорной базой.

При проектировании приспособлений в случае базирования длинных цилиндрических заготовок часто используются призмы, создающие четыре опорные точки для двойной направляющей базы. При необходимости полного базирования призмы применяются в сочетании с упорами, лысками и пазами, образующими соответствующие упорные базы (рис. 1.36).

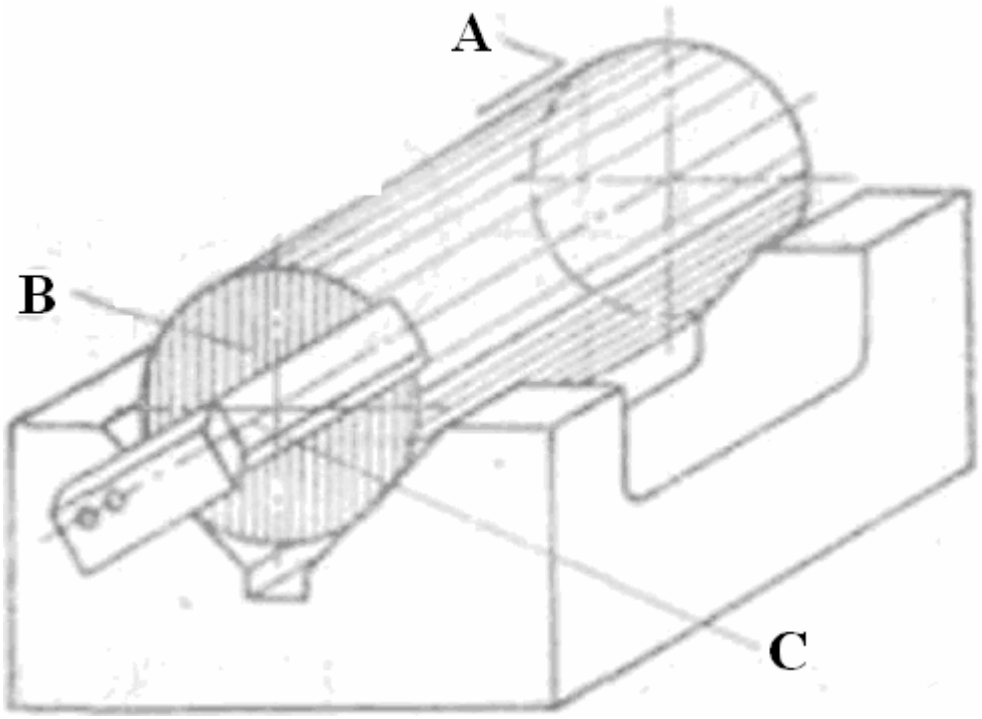


Рис.1.36. Базирование валика в призме

Несколько иначе следует рассматривать базы при ориентировке цилиндрических заготовок и деталей типа тонких дисков, длина которых значительно меньше диаметра. Очевидно, что в этом случае цилиндрическая поверхность уже не может выполнить функции двойной направляющей базы и находится в контакте с четырьмя опорными точками. С другой стороны, относительно большие размеры торцовой поверхности делают возможным размещение на ней трех опорных точек, что вносит определенность в ориентировку заготовки в пространстве. В соответствии с этим, при ориентировке в пространстве короткого цилиндрического тела (типа тонкого диска) необходимо соединить его торцовую поверхность А (рис. 1.37) тремя двусторонними связями (координатами) «у» с плоскостью XOZ.

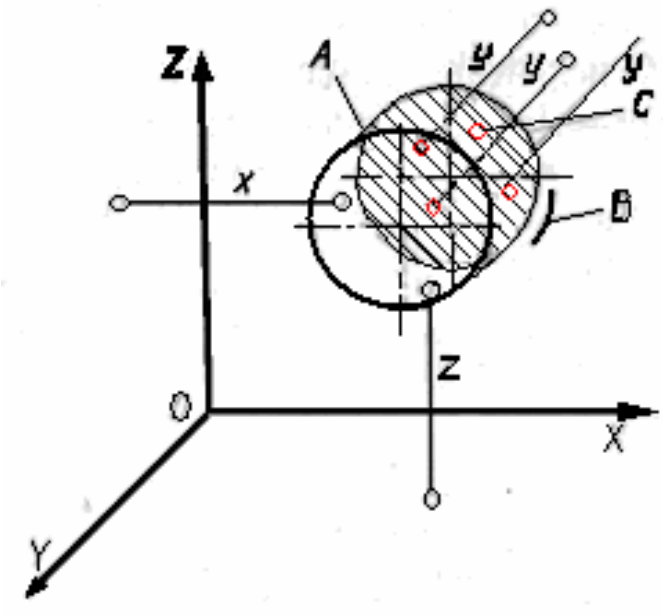


Рис.1.37. Базирование диска

При этом тело лишается трех степеней свободы: возможности перемещения вдоль оси OY и поворотов вокруг осей OX и OZ. Для лишения тела возможности перемещения вдоль осей OX и OZ следует соединить его цилиндрическую поверхность B двусторонними связями, т. е. координатами x и z, с плоскостями XOY и YOZ; шестая двусторонняя связь, лишающая тело возможности поворотов вокруг собственной оси, параллельной оси 0Y, создается помещением опорной точки на поверхности шпоночной канавки C. При соответствующей замене двусторонних связей опорными точками торцовая поверхность A (рис. 1.37) диска, контактирующая с тремя опорными точками, лишающими диск трех степеней свободы, называется установочной базой; цилиндрическая поверхность B, контактирующая с двумя опорными точками и соответственно отбирающая у диска две степени свободы, называется двойной опорной (или центрирующей) базой, а поверхность шпоночной канавки C, лишающая диск одной степени свободы, - опорной базой. Так же, как и при ориентировке длинных цилиндрических поверхностей, при ориентировке дисков часто бывает удобно использовать призмы.

Специфические особенности имеет ориентировка в пространстве конических заготовок и деталей.

При установке заготовки или детали по длинной конической поверхности с относительно небольшой конусностью (отверстия в шпинделях станков, конусные хвостовики режущих инструментов, конические оправки "трения") коническая поверхность лишает деталь пяти степеней свободы (перемещения вдоль всех трех осей координат и поворотов вокруг двух осей системы координат), оставляя ей только одну степень свободы - возможность поворотов вокруг собственной оси, которая может рассматриваться как третья ось системы координат. Таким образом, в этом случае коническая поверхность совмещает в себе функции двойной

направляющей и опорной поверхности цилиндрической детали и может быть названа опорно-направляющей базой. Очевидно, что для полной ориентировки конической заготовки или детали в пространстве необходимо лишить ее еще одной степени свободы, разместив на одной из ее поверхностей шестую опорную точку (шпоночный паз, лыска), называемую опорной базой.

Таким образом, полное базирование длинной конусной детали, лишающее ее всех шести степеней свободы, достигается при использовании комплекта двух баз: упорно-направляющей и опорной. При базировании заготовки по короткой конической поверхности с относительно большим углом конуса (как это имеет место при установке заготовки в центрах) условия базирования значительно меняются.

Коническая поверхность короткого центрового отверстия не в состоянии осуществлять функции направления оси заготовки, и ее возможности ограничиваются выполнением функции центрирования (аналогично цилиндрической поверхности диска, являющейся двойной опорной или центрирующей базой), а в некоторых случаях дополняются выполнением функции опорной базы. Несмотря на внешнее подобие задачи в ориентировке заготовки, роли, выполняемые левым и правым центровыми отверстиями, неодинаковы. Левое центровое отверстие, соприкасающееся с неподвижным в осевом направлении центром передней бабки, выполняет функции центрирования и определяет положение заготовки в осевом направлении. Таким образом, оно лишает заготовку трех степеней свободы (перемещения вдоль трех осей координат) и несет на себе три опорные точки. По выполняемой функции коническая поверхность переднего (левого) центрового отверстия называется опорно-центрирующей базой.

Функция заднего центрового отверстия, соприкасающегося с подвижным в осевом направлении центром задней бабки, ограничена осуществлением центрирования. Эта поверхность находится в контакте с двумя опорными точками и лишает заготовку двух степеней свободы (поворотов вокруг осей Y и Z системы координат). В соответствии с этим коническая поверхность заднего центрового отверстия называется центрирующей базой.

Следовательно, установка заготовки в центрах лишает ее пяти степеней свободы, сохраняя возможность вращения заготовки вокруг собственной оси. Очевидно, что в случае необходимости точной ориентировки положения заготовки с точки зрения ее поворота относительно оси (что бывает необходимо, например, в случае несимметричных заготовок на фрезерных станках при их установке в центрах, при нарезании многозаходных резьб и т. д.) следует использовать одну из дополнительных поверхностей заготовок в качестве опорной базы, вводя ее в контакт с шестой опорной точкой и лишая заготовку шестой степени свободы.

1.4.3. Количество баз, необходимых для базирования, и их обозначения в технологической документации

Во всех рассмотренных выше примерах полной ориентировки заготовки в приспособлении или детали в сборочном элементе прибора использовался комплект из нескольких (в большинстве случаев из трех) баз, обеспечивающий лишение тела всех шести степеней свободы посредством введения баз в контакт с шестью опорными точками.

Необходимо отметить, что полная ориентировка детали бывает необходима только в неподвижных соединениях деталей сборочных единиц приборов. Во всех случаях подвижных соединений детали или сборочные единицы должны сохранять определенные степени свободы и создания в соединениях шести опорных точек не требуется. Например, шпиндели станков должны быть лишены пяти степеней свободы при сохранении возможности вращения вокруг своей оси; салазки суппорта станка также должны сохранять одну степень свободы, позволяющую их перемещение по направляющим, а шарик шарикоподшипника должен иметь четыре степени свободы - возможности вращения вокруг любой из трех осей координат и перемещения вдоль одной из осей, направленной по касательной к окружности беговой дорожки.

При обработке заготовок на станках и их установке в приспособлениях во многих случаях также нет необходимости в полной ориентировке заготовок с использованием всего комплекта из трех баз, контактирующих с шестью опорными точками приспособления или станка.

Так, например, при обработке плоскости призматической заготовки (рис. 1.38, а) ориентировка заготовки на станке в направлении горизонтальных осей координат для получения требуемого размера, а не имеет значения, поэтому боковые поверхности заготовки теряют значение баз. В данном случае требуемая ориентировка заготовки осуществляется только одной установочной базой А, а ее боковые поверхности используются только для закрепления и в базировании заготовки не участвуют.

Естественно, что для получения у заготовки двух размеров (например, а и b на рис. 1.38, б) возникает необходимость ее ориентировки не только с помощью установочной базы - поверхности А, но также и с помощью направляющей базы - поверхности В. В случае же, изображенном на рис. 1.38, в, когда требуется обеспечить выполнение трех размеров a, b и c, для ориентировки заготовки необходимо использование всего комплекта из трех баз, т. е. поверхностей А, В, С. При обработке цилиндрических заготовок для их базирования во многих случаях тоже нет необходимости в использовании комплекта всех трех баз.

Например, при сквозном сверлении и растачивании заготовки, закрепленной в патроне, используется только одна двойная направляющая база А, находящаяся в контакте с четырьмя опорными точками (рис. 1.38, г). При растачивании ступенчатого отверстия, когда выдерживается линейный

размер а, необходимо использовать две базы: двойную направляющую А и опорную - С (рис. 1.38, д).

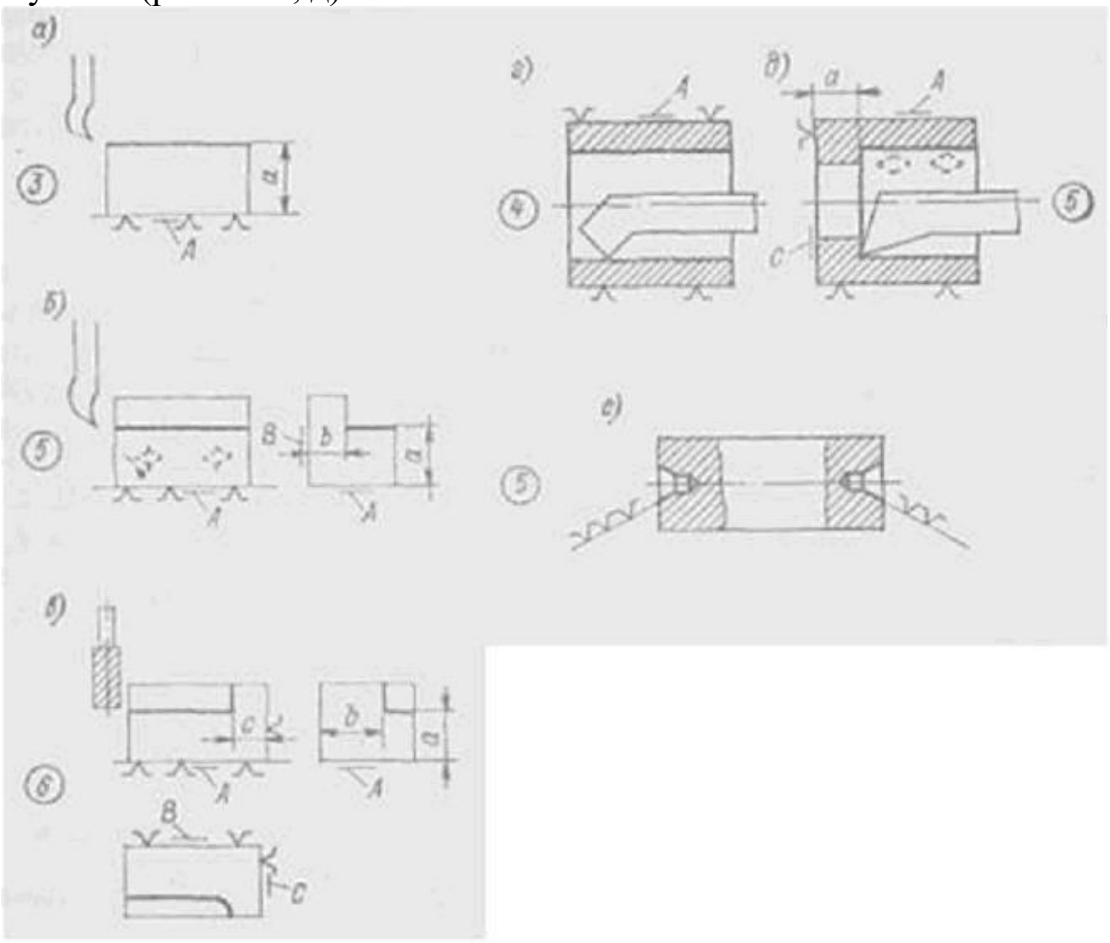


Рис. 1.38. Обработка заготовок при использовании одной (а,г), двух (д, б, е) и трех (в) баз

При установке валиков в центрах (для обточки на токарных станках или наружного шлифования) они базируются по коротким крутым конусам центровых отверстий и, как указывалось ранее, с помощью пяти опорных точек (рис. 1.38, е) лишаются пяти степеней свободы. При этом у валиков сохраняется шестая степень свободы- возможность вращения вокруг собственной оси, необходимая для осуществления обработки. При этом следует подчеркнуть, что обычно используемый в подобных случаях хомутик отнюдь не является шестой опорной точкой, так как он не участвует в базировании заготовки и не ориентирует ее положения созданием определенных углов ее поворота вокруг оси, а служит только для передачи заготовке вращения.

Таким образом, в зависимости от технологической задачи, решаемой при обработке заготовки, при ее базировании в приспособлении или на станке могут быть использованы один, два или три базовых элемента, несущие на себе в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек.

На рис. 1.38 цифрами в кружках показано число степеней свободы, отнимаемое у заготовки при базировании по разным схемам.

При проектировании технологических операций (после уточнения технологической задачи и количества необходимых для ее выполнения идеальных опорных точек) на операционном эскизе изображается так называемая "теоретическая схема базирования". Теоретическая схема базирования представляет собой схему расположения на базовых элементах заготовки идеальных опорных точек и условных точек, символизирующих позиционные связи заготовки с принятой системой координат (опорные поверхности приспособлений, координатные плоскости станка и т. п.). При этом на контурных линиях поверхностей заготовок, принятых в качестве базовых элементов, проставляются условные обозначения идеальных точек контакта заготовок и приспособлений, которые лишают заготовку соответствующего числа степеней свободы. Согласно ГОСТ 21495-76 идеальная опорная точка обозначается символами (рис.1.39):

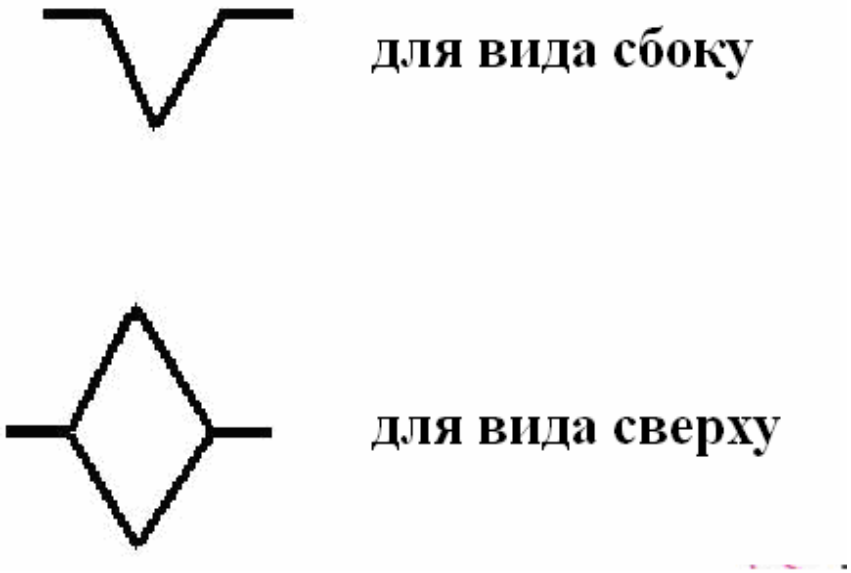


Рис. 1.39. Идеальная опорная точка

На невидимых базовых элементах заготовки (осевые линии, плоскости симметрии) наносятся аналогичные обозначения условных точек, выполненные штриховыми полями.

В случае необходимости, когда направление и место приложения зажимного усилия принципиально важны для качественного выполнения проектируемой операции (например, осевой зажим тонкостенной втулки при ее расточке), на теоретических схемах могут быть показаны не только опорные точки на базах, но и места приложения и направления усилий зажимов.

1.4.4. Скрытые (условные) базы

В большинстве случаев сборки и механической обработки определенность положения детали в собираемом узле или обрабатываемой заготовки в приспособлении, т. е. их базирование, осуществляется

непосредственно контактом их базовых опорных поверхностей с соответствующими поверхностями других деталей узла или приспособления.

Однако, во многих случаях проектирования бывает удобно определить на чертежах взаимное расположение отдельных деталей в узлах и расположение отдельных поверхностей деталей и заготовок не по их поверхности, а по некоторым воображаемым плоскостям, линиям или точкам (плоскость симметрии, осевая линия, биссектриса угла, центровая точка), называемым в этом случае условными или скрытыми базами (ГОСТ 21496-76).

Так, взаимное расположение зубчатых колес определяется расстоянием между их осями, расстояние между призматическими направляющими станины определяется расстоянием между биссектрисами углов призм, а расположение отверстий в заготовке - их межцентровыми расстояниями.

Применение условных (скрытых) баз при проектировании тем более удобно, что позволяет исключить из расчетов неизбежные погрешности реальных поверхностей, снижающие точность базирования.

При базировании деталей собираемых узлов и обрабатываемых заготовок в подавляющем большинстве случаев используются материальные поверхности ("явные" базы по ГОСТ 21495-76), однако и в этом случае для повышения точности базирования иногда применяются условные (скрытые) базы, материализуемые различными устройствами (отвесы, коллиматоры, центрирующие устройства и т. п.). В этом случае на схемах базирования изображается не только расположение идеальных опорных точек на поверхностях материальных баз, но и расположение на скрытых базах (осях, плоскостях симметрии) условных точек, символизирующих связи заготовки с избранной системой координат.

Построение теоретических схем базирования бывает целесообразным при проектировании технологических операций обработки ответственных и точных заготовок для облегчения расчетов ожидаемых погрешностей взаимного расположения обработанных поверхностей. При этом схема базирования может служить определенной инструкцией - заданием для конструктора приспособления по созданию его целесообразной конструкции. Так, например, изображенная на рис. 1.39, а схема базирования втулки предполагает при обработке наружной поверхности использование в качестве технологической базы материальной поверхности отверстия.

Эта схема может быть реализована созданием жесткой цилиндрической оправки с гайкой (рис. 1.39, б), однако при этом возникает погрешность базирования, равная величине зазора между базовым отвергшем втулки и жесткой оправкой. Эта погрешность, достигающая величины допуска на отверстие втулки, вызывает эксцентриситет и биение обработанной наружной поверхности.

Теоретическая схема базирования (рис. 1.39, в) показывает, что обрабатываемая поверхность должна точно ориентироваться относительно оси отверстия и появление ее эксцентриситета и биения - недопустимо.

Для исключения погрешности базирования, вызывающей эксцентриситет, должна быть создана (рис 1.39, г) беззазорная оправка (разжимная, конусная оправка трения, цилиндрическая с прессовой посадкой и т. п.).

Приведенный на рис.1.39 пример показывает, что в большинстве случаев применения условных (скрытых) баз базирование в конечном счете осуществляется материальными поверхностями (в примере на рис. 1.39 - поверхностью отверстия), которые обеспечивают правильное расположение (т. е. базирование) на станке самих скрытых баз. Однако указание этих баз на теоретической схеме базирования способствует созданию требуемой для данного случая конструкции приспособления. Особенно полезную роль играют условные (скрытые) базы при использовании центрирующих зажимов.

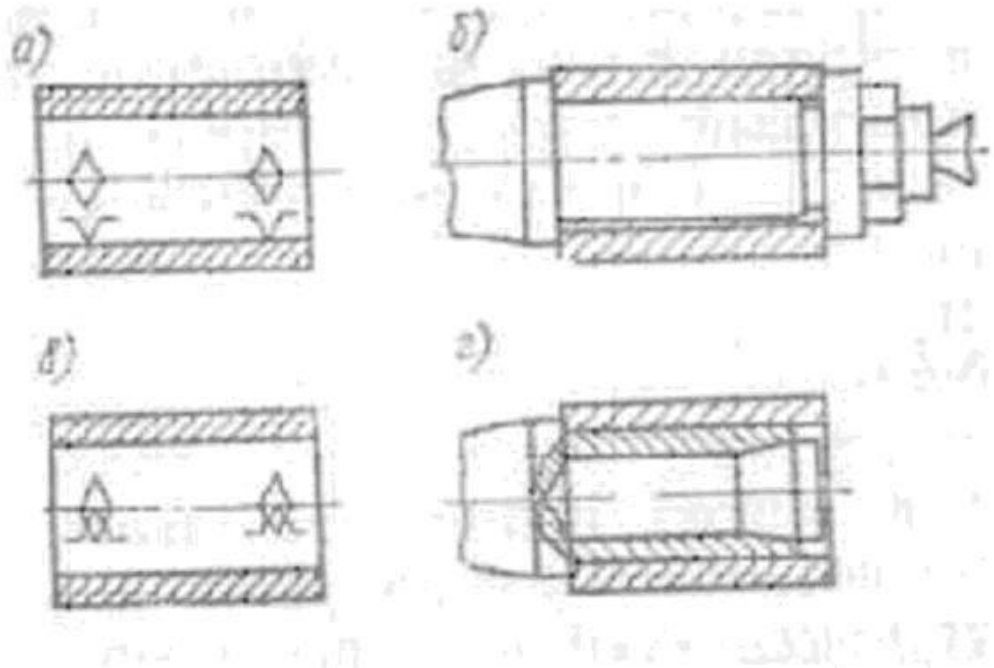


Рис.1.39. Базирование втулки по материальной (явной) (а, б) и по условной (скрытой) (в, г) базам

При регулировании и сборке узлов и механической обработке с выверкой положения заготовки на станке базирование может осуществляться и по самим условным базам, которые в этом случае материализуются с помощью различных специальных устройств.

1.4.5. Базирующая роль направленных зажимов

Ранее указывалось, что зажимы, прикладываемые к заготовке при ее закреплении, создают фрикционные связи и, обеспечивая неподвижность заготовки, не участвуют в ее базировании и не изменяют числа отнимаемых у заготовки степеней свободы. Это справедливо применительно к обычным

"свободным" зажимам, т. е. к зажимам типа прихватов, эксцентриков, винтов и т. п. Однако, при использовании несвободных зажимов, совершающих вполне определенное и точно направленное движение, а также при применении самоцентрирующих зажимов и устройств они могут налагать на заготовку позиционные связи, т. е. базировать заготовку, лишая ее соответствующего числа степеней свободы, которое зависит от размеров и формы прижимной поверхности. Когда заготовка помещается на неподвижную базирующую плоскость 2 (рис. 1.40, а), то она лишается трех степеней свободы (возможности перемещения вдоль оси Z и вращения вокруг осей X и Y).

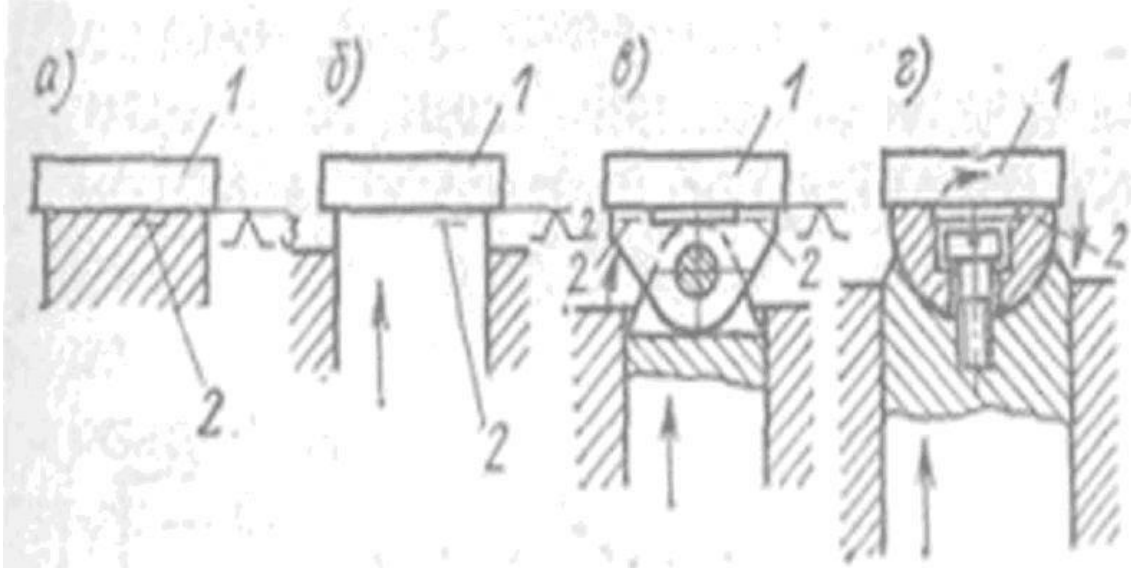


Рис. 1.40. Закрепление призматической заготовки 1 направленными зажимами

Если базирующая плоскость 2 не является неподвижной, а представляет собой торцовую поверхность ползуна прижима, перемещающегося по направляющим параллельно оси Z (рис. 1.40, б), то связь, ограничивающая перемещения вдоль этой оси, оказывается снятой, и заготовка при базировании на торце подвижного ползуна лишается только двух степеней свободы. Если базовую плоскость 1 разместить на поверхности промежуточной детали - качалке, ось вращения которой укреплена на ползуне параллельно оси У (рис. 1.40, в), то базовая плоскость приобретает еще одну степень свободы - возможность поворота вокруг оси Y.

В результате (при такой конструкции зажима) базируемая заготовка лишается при закреплении только одной степени свободы (возможности поворота вокруг оси X).

При замене качалки сферической опорой (рис. 1.40, г) прижим не накладывает на заготовку никаких дополнительных связей и функционирует как свободный зажим. Общее число связей n, налагаемых на заготовку при закреплении направленным зажимом (т. е. число степеней свободы,

отнимаемых зажимом у базируемой заготовки), может быть определено по формуле:

$$n = m - k,$$

где m –число опорных точек рабочей поверхности (поверхности контакта) зажима;

k – число степеней свободы рабочей поверхности зажима.

С помощью направленных зажимов может быть достигнуто центрирование положения заготовок в приспособлениях.

При встречном движении двух направленных точечных (сферических) зажимов каждый из них (в соответствии с последней формулой) отдельно не налагает на закрепляемую заготовку дополнительных позиционных связей, однако в совокупности они образуют (в соответствии с рис. 1.41) одну двустороннюю связь и лишают заготовку одной степени свободы в направлении своего перемещения X.

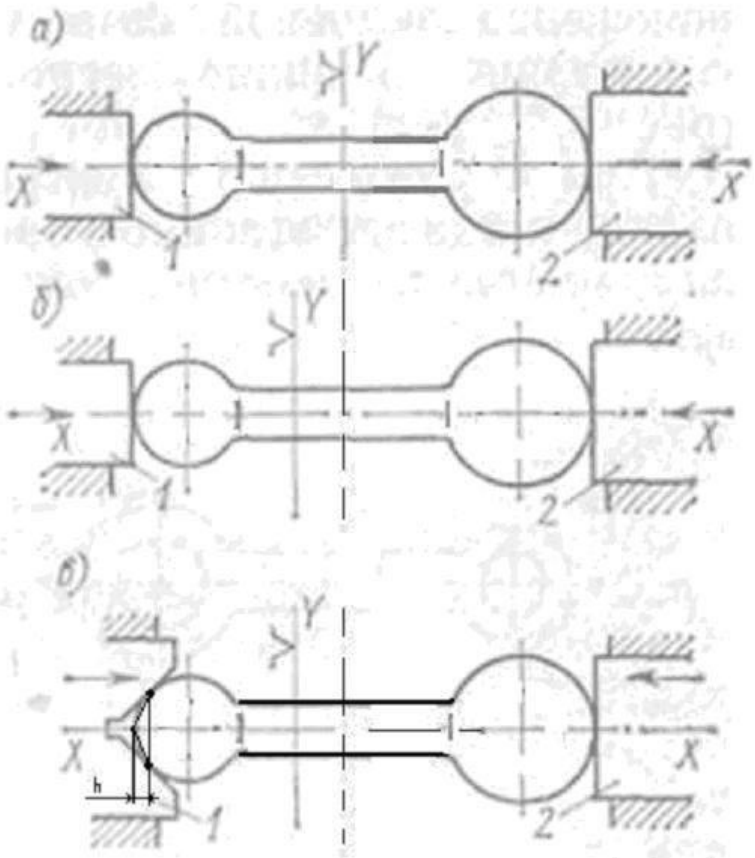


Рис.1.41. Закрепление и одновременное центрирование заготовки самоцентрирующимися направленными зажимами

При одинаковой скорости встречного движения зажимов и одинаковой форме прижимных поверхностей точка приложения этой связи расположится на пересечении траектории движения зажимов по оси X с плоскостью симметрии Y (рис. 1.41, а), которая может считаться в этом случае условной (скрытой) базой и на которой проставляется символическое обозначение налагаемой связи. При этом осуществляется одностепенное центрирование заготовки, при котором одна ее плоскость симметрии - Y - совмещается с

плоскостью симметрии, образованной установочными элементами приспособления.

Если скорость перемещения зажима 1 окажется меньше, чем скорость перемещения зажима 2 (рис. 1.41, б), или, если при равной скорости зажимов 1 и 2 один из них выполнен в форме призмы, положение условной базы смещается из положения плоскости симметрии по длине заготовки (рис. 1.41, б, в). При двухстепенном центрировании, когда две взаимно перпендикулярные плоскости симметрии заготовки совмещаются с двумя взаимно перпендикулярными плоскостями симметрии, образуемыми установочными элементами приспособления, две зажимные призмы двигаются с одинаковой скоростью навстречу друг другу (рис. 1.42, а).

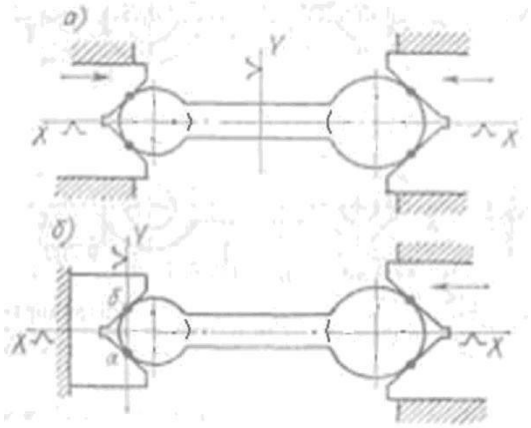


Рис. 1.42. Закрепление и двухстепенное центрирование заготовки самоцентрирующимися направленными зажимами

При этом каждая из призм лишает заготовку одной степени свободы в направлении, перпендикулярном оси X (условная база), и обе они в совокупности лишают заготовку одной степени свободы в направлении оси X с наложением связи на условную базу - плоскость симметрии

Y. Таким образом, самоцентрирующиеся зажимы лишают заготовку трех степеней свободы. Если одна из призм центрирующего зажима является неподвижной (рис.1.42, б), то общее число опорных точек, размещаемых на условных базах заготовки, сохраняется равным трем, однако положение условной базы по оси Y перемещается из положения плоскости симметрии (рис. 1.42, а) в положение плоскости, в которой лежат точки а и б фактического контакта неподвижной призмы с заготовкой. Двухстепенное центрирование заготовок типа диска может быть успешно осуществлено при встречном движении призмы и плоского зажима (рис. 1.43, а), когда скорость движения призмы - Vпр - больше скорости движения плоского зажима - Vпл. При замене призмы двумя ползунами создается схема обычного трехкулачкового патрона (рис. 1.43, б).

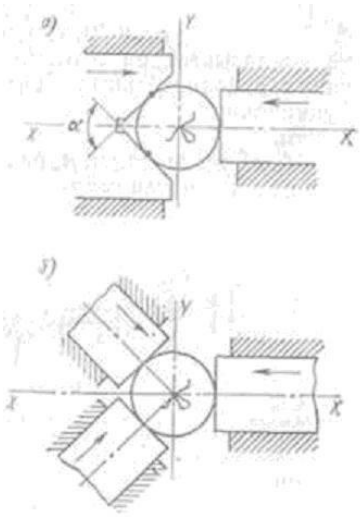


Рис. 1.43. Двухстепенное центрирование и закрепление диска

Каждый из ползунов представляет собой направленный зажим, соприкасающийся с заготовкой в одной точке, и сам по себе не лишает заготовку ни одной степени свободы, но совокупность трех кулачков, перемещающихся с одинаковой скоростью к центру, лишает заготовку двух степеней свободы (возможности движения вдоль осей X и Y). Условной базой заготовки в обоих случаях (рис. 1.43) является центральная точка заготовки.

Во всех рассмотренных случаях базирования направленными зажимами (рис. 1.39-1.43) фактическая ориентация (базирование) заготовок осуществляется по материальным поверхностям заготовок и зажимов, обеспечивая требуемое при данных операциях расположение в приспособлениях осевых линий, плоскостей симметрии и других условных (скрытых) баз. Поэтому, строго говоря, в этих случаях скрытые базы не являются базами в правильном смысле этого слова, так как они ничего не базируют, а только помогают созданию конструкции приспособлений, требуемой для решения данных технологических задач.

1.4.6. Конструкторские и технологические базы

В общем случае базой называется совокупностью поверхностей, линий и (или) точек, по отношению к которой определяется положение интересующей нас поверхности линий или точки. По своему назначению и области применения в приборостроении базы подразделяются на конструкторские и технологические, используемые при обработке заготовок или сборке изделий.

Конструкторская база - это база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии при его конструировании (ГОСТ 21495-76). Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные. Основной называется конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице, используемая для определения ее положения в изделии. Конструкторская база, принадлежащая

данной детали или сборочной единице, используемая для определения положения присоединяемого к ней изделия, называется вспомогательной базой (ГОСТ 21495-76).

Технологическая база - это база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления, сборки или ремонта (ГОСТ 21495-76). Технологической базой, используемой при обработке заготовок на станках, называется база, относительно которой ориентируются ее поверхности, обрабатываемые на данном установе.

В качестве технологических баз используют также разметочные линии и точки, нанесенные на материальные поверхности заготовок для выверки положения последних относительно устройств станка, определяющих траекторию движения режущих инструментов. Разновидностью технологических баз является измерительные базы.

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

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

При обработке заготовок по принципу автоматического получения размеров требуемую точность можно обеспечить сравнительно легко посредством настройки станка относительно контактных технологических баз заготовки или соприкасающихся с ними опорных поверхностей приспособлений.

Контактные технологические базы, обеспечивающие необходимую точность обработки партии заготовок на настроенных станках и не требующие трудоемкой настройки станка, широко применяются в крупносерийном производстве.

Контактные технологические базы очень часто используются при сборке узлов и сборочных элементов (сборка валов с подшипниками, соединение салазок суппортов с направляющими станины и т. п.).

Настроечные базы. Для осуществления настройки станка относительно определенных поверхностей заготовки необходимо, чтобы эти поверхности занимали на станке при смене заготовок неизменное положение относительно упоров станка, определяющих конечное положение обрабатывающего инструмента. К таким поверхностям относятся опорные поверхности заготовки, что и предопределяет широкое их использование в крупносерийном производстве в качестве опорных технологических баз. Такими же поверхностями являются поверхности, образуемые на заготовке при данном установе и связанные с другими обрабатываемыми поверхностями непосредственными размерами.

Примером использования поверхности, обрабатываемой за один и тот же установ, в качестве технологической базы может служить обработка заготовки на револьверном станке (рис. 1.44).

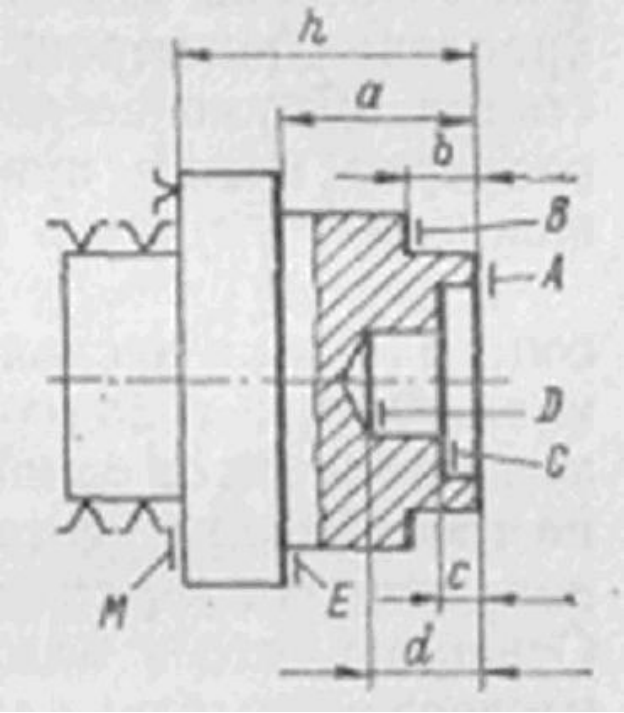


Рис. 1.44. Использование настроечной базы А при обработке заготовки на револьверном станке

Заготовка опирается поверхностью М на соответствующий упор зажимного устройства станка, однако эта поверхность, являясь контактной технологической базой для обработки торца А заготовки на размер h, не является таковой для всех остальных торцовых поверхностей заготовки B, C, D, E, обрабатываемых на размеры b, c, d, a. Положение поверхностей B, C, D и E определяется при настройке станка не положением поверхности М, а положением поверхности А, относительно которой производится установка упоров. В этом случае поверхность А, обрабатываемая при том же установе, что и рассматриваемые поверхности B, C, D, E, является для них настроечной технологической базой.

Настроечной базой называется поверхность заготовки, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности, связанная с ними непосредственными размерами и образуемая при одном установе с рассматриваемыми поверхностями заготовки. Настроечная база обычно связана непосредственным размером с опорной базой заготовки. При построении операции обработки с использованием настроечной базы контактная база заготовки является технологической базой для получения линейных размеров только при обработке самой настроечной базы, с которой она связана непосредственным размером. Технологической базой для обработки всех остальных поверхностей заготовок и получения линейных размеров a, b, c, d в этом случае служит не контактная, а настроечная база заготовки. В зависимости от конфигурации и предъявляемых к ней

требований заготовка может иметь несколько настроечных баз одного направления размеров, что в известной степени затрудняет настройку станка, однако создает возможность непосредственной простановки размеров между поверхностями, взаимное расположение которых важно для готового изделия.

К методу работы по настроечной базе относятся различные способы расточки нескольких отверстий с точным взаимным расположением их осей и другие операции, при которых режущий инструмент перемещается от одной обработанной поверхности заготовки к другой на требуемое по чертежу расстояние с помощью специальных шаблонов, отсчетных устройств станка или согласно заданной программе. Очевидно, что в подобных случаях можно использовать несколько настроечных баз разных направлений. Применение настроечных технологических баз значительно расширяет возможности простановки размеров на чертежах заготовок, так как позволяет устанавливать размеры без повышения их точности не только непосредственно от опорных поверхностей, но и от измерительных баз, которые можно использовать в качестве настроечных баз. Настроечные базы способствуют упрощению конструкции приспособлений, концентрации операций технологического процесса и сокращению общего числа операций, а также дают возможность производить промеры заготовок непосредственно на станке. Некоторое усложнение наладки станка, связанное с использованием настроечной базы, компенсируется в крупносерийном производстве указанными преимуществами применения этих баз. Особенно ярко выявляются преимущества настроечных баз при использовании автоматов, многорезцовых станков, станков с копировальными устройствами, станков с числовым программным управлением и обрабатывающих центров, которые требуют создания сложных концентрированных операций, а также при многопозиционной обработке.

Контактная и настроечная технологические базы получили широкое распространение в крупносерийном производстве при настройке станков, работающих по методу автоматического получения размеров. Известно, что при установке заготовки в приспособлениях на контактной базе всегда возникает погрешность закрепления, являющаяся одной из причин рассеяния размеров заготовок, которые проставлены от этих баз, и увеличивающая общую погрешность обработки. При использовании настроечных баз погрешность закрепления заготовок на точность размеров, проставленных от этих баз, не влияет. Проверочные технологические базы. При обработке заготовок в условиях серийного и единичного производства, а также при сборке точных соединений и приборов широко используются проверочные базы. Проверочной базой называется базой, по отношению к которым производится выверка положения заготовки на станке или установка режущего инструмента при обработке заготовки, а также выверка положения других деталей или сборочных единиц при сборке изделия. Интересным примером использования проверочной базы для изготовления особо точной

детали оптического прибора может служить нарезание зуба отсчетного червячного колеса прибора.

По условиям своей работы в приборе начальная окружность зубчатого венца детали должна быть строго концентрична посадочному наружному цилиндру А, являющемуся основной конструкторской базой детали (рис. 1.45).

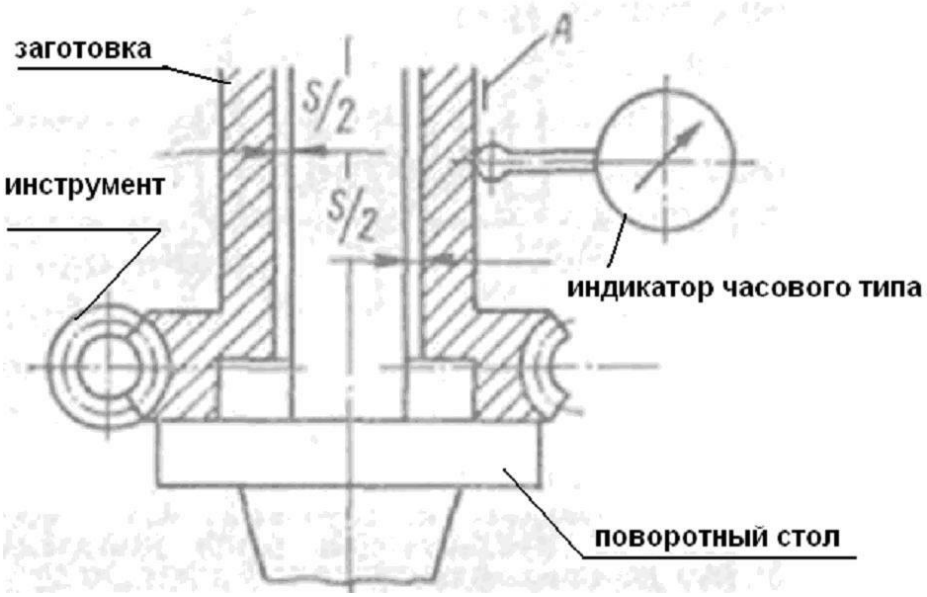


Рис.1.45. Начальная окружность зубчатого венца

Не концентричность этих поверхностей непосредственно отражается на появлении ошибки прибора при отсчетах углов и не может быть допущена свыше 0,005 мм (что соответствует допуску на биение начальной окружности зубчатого венца по отношению к посадочной цилиндрической поверхности в пределах 0,01 мм).

Биение нарезанного зуба вызывается неточностями механизмов зуборезного станка (величиной радиального биения шпинделя станка, в котором крепится заготовка), неточностями изготовления оправки для крепления заготовки на станке (эксцентричностью поверхности оправки, ориентирующей заготовку на станке по отношению к поверхности конуса оправки, которым она крепится в шпинделе зуборезного станка) и, наконец, эксцентричностью посадки заготовки на оправке вследствие наличия зазора S между посадочной поверхностью оправки и опорной базой заготовки.

Положение проверочной базы А в технологической системе устанавливается путем последовательно повторяющихся регулировок заготовки на поворотном столе и проверок результатов этих регулировок с помощью индикатора часового типа. Теоретически проверочные базы могут обеспечить любую точность базирования, используя для проверки положения баз инструменты соответствующей точности. В связи с особой ролью и возможностями проверочных баз приведем наиболее часто используемые схемы проверки(контроля) типовых цилиндрических

поверхностей (рис. 1.46.) и фотографию современной измерительной установки для контроля и измерения цилиндрических поверхностей (рис.1.47).

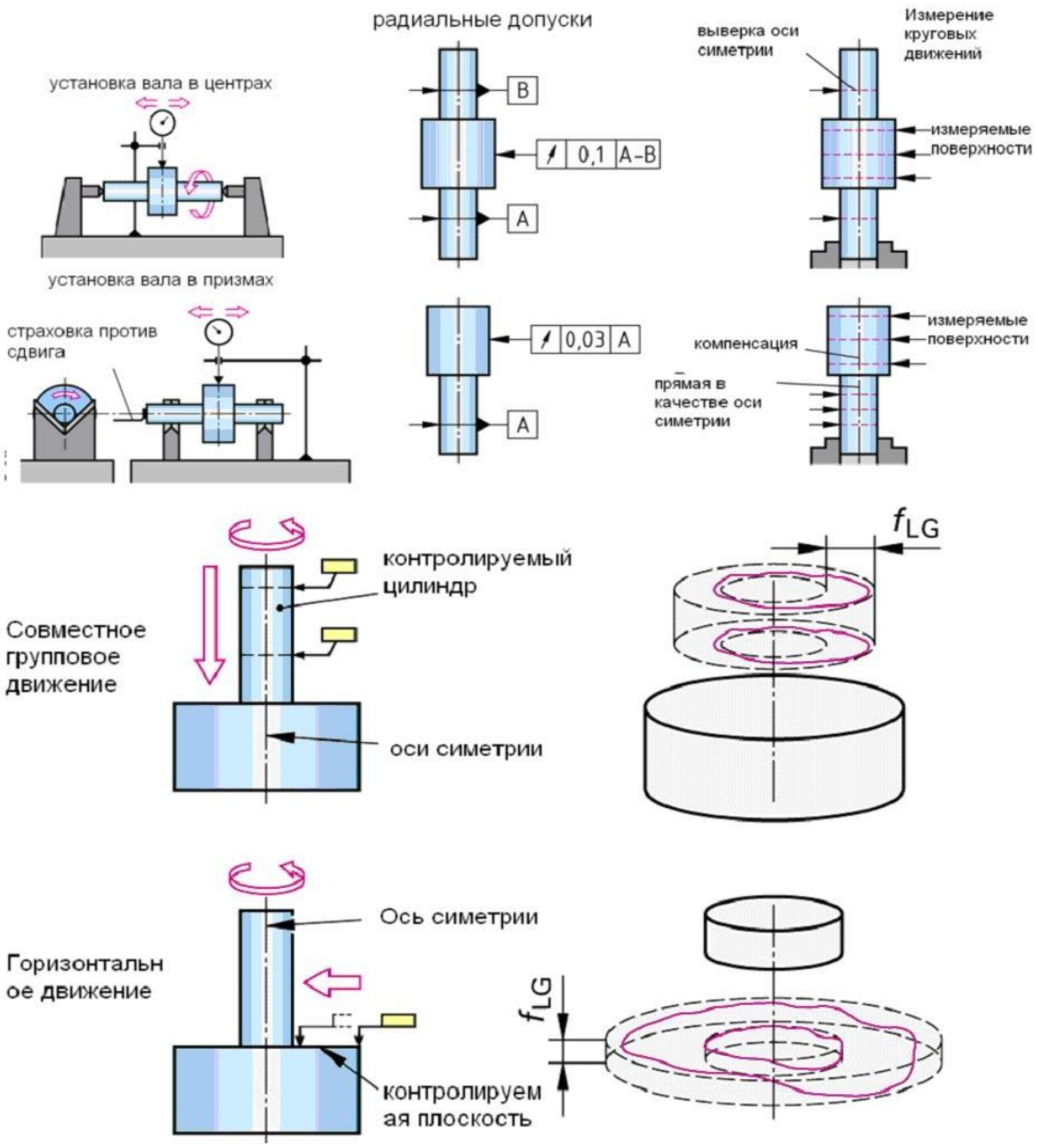


Рис. 1.46. Схема измерения радиального и торцевого биения



Рис. 1.47. Установка для измерения и контроля геометрических характеристик цилиндрических поверхностей

1.4.7. Искусственные технологические базы

Если конфигурация заготовок не дает возможности выбрать технологическую базу, позволяющую удобно, устойчиво и надежно ориентировать, и закрепить заготовку в приспособлении или на станке, то прибегают к созданию искусственных технологических баз. К категории искусственных технологических баз относятся также такие технологические базы, которые в целях повышения точности базирования обрабатываемой заготовки в приспособлении предварительно обрабатываются с более высокой точностью, чем это требуется для готового изделия по чертежу.

Характерным примером искусственных технологических баз могут служить центровые отверстия, не требующиеся для готового вала и необходимые исключительно из технологических соображений. Когда сохранение центровых отверстий по условиям эксплуатации вала недопустимо, после его обработки их срезают. Если центровые отверстия используются при эксплуатации детали и являются конструктивно необходимыми, то они не могут рассматриваться как искусственные технологические базы. При механической обработке крупногабаритных турбинных лопаток в качестве технологической базы часто используют хвостовик лопатки и прилив бобышку, специально созданную для облегчения установки лопатки в приспособлениях. После механической обработки лопаток бобышки отрезают (рис. 1.48).

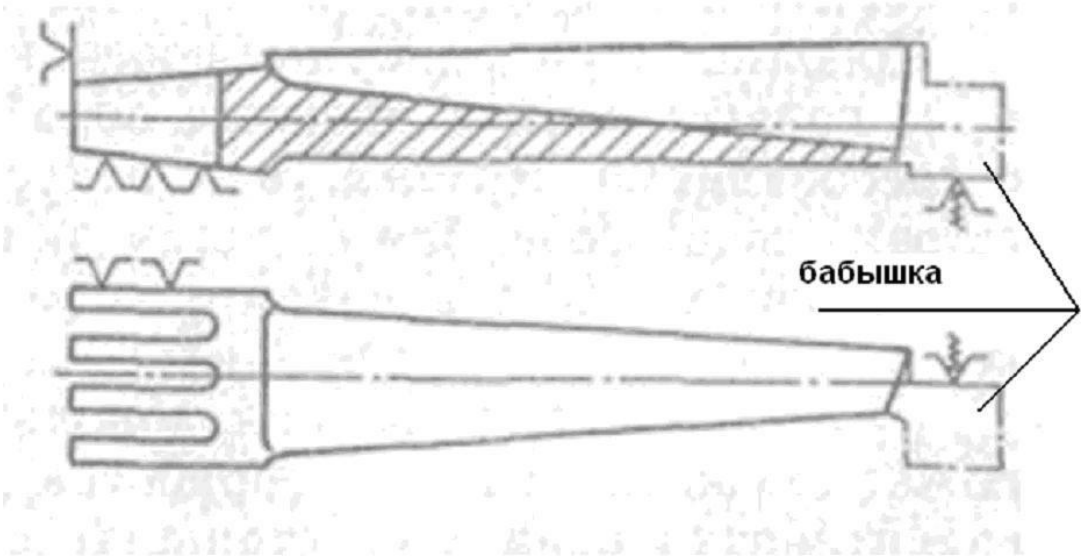


Рис. 1.48. Использования дополнительной опорной поверхности технологической бобышки (показана штрихпунктирной линией) при обработке крупногабаритных лопаток

Если отдельные поверхности специального прилива - бобышки входят в общее число базирующих поверхностей технологической базы и на них вместе с другими базами размещается шесть опорных точек, то бобышку следует отнести к категории искусственных технологических баз. Однако, если все шесть опорных точек технологической базы размещаются на других поверхностях лопатки, например, на ее хвостовике, и опорные точки, располагающиеся на технологической бобышке, являются избыточными, то бобышка уже не может рассматриваться в качестве базы, так как она не базирует (не ориентирует заготовку относительно станка), а только служит дополнительной опорой вследствие недостаточной жесткости заготовки.

1.4.8. Дополнительные опорные поверхности

Для полного определения положения заготовки в приспособлении теоретически необходимо создать шесть опорных точек. В этом случае положение заготовки в приспособлении является статически определенным. Однако, при установке обрабатываемой заготовки, отличающейся малой жесткостью и большими размерами, по шести опорным точкам иногда происходит ее деформация под действием силы тяжести и усилий резания, исключающая возможность достижения требуемой точности обработки. В подобных случаях технолог вынужден использовать дополнительные опорные поверхности, несущие на себе дополнительные опорные точки (сверх шести теоретически необходимых). При этом положении заготовка становится статически неопределенной и точность ее установки теряется.

Дополнительные опорные поверхности могут быть естественными, т. е. полученными в процессе обработки заготовки в соответствии с требованиями чертежа, или искусственными, созданными на заготовке специально для ее

установки и закрепления в приспособлении (всевозможные дополнительные центровые отверстия, выточки под люнеты, специальные приливы и бобышки и т. п.). Примером использования дополнительной опорной поверхности может служить токарная обработка длинного вала. С точки зрения ориентировки вала в пространстве его положение полностью определяется зажимом в патроне с упором торца вала в соответствующие упорные поверхности кулачков (пяти опорных точек в данном случае достаточно, так как при обточке вала не требуется его ориентировка относительно оси вращения). Однако, для предотвращения прогиба вала применяется поддержка его центром по дополнительной опорной поверхности - центровому отверстию, несущему на себе еще две опорные точки. Если дополнительная опорная поверхность (центровое отверстие) смещена относительно поверхности конца вала, закрепленного в патроне, которая определяет положение вала на станке, то вал искривляется, и его обработка является неточной. Приведенные примеры показывают, что применение дополнительных опорных поверхностей может внести неопределенность в положение заготовки при обработке и тем самым снизить точность расположения обрабатываемых поверхностей. Вследствие этого рекомендуется использовать в качестве дополнительных опор всевозможные подвижные и регулируемые опоры (механические и автоматические подпоры). В тех случаях, когда это невозможно, необходимо обеспечить высокую точность расположения дополнительной опорной поверхности заготовки по отношению к ее технологическим ба- зам, на которых располагается шесть теоретически необходимых опорных то- чек, поскольку погрешность расположения всех базирующих и дополнительных опорных поверхностей входит в погрешность базирования заготовки и переносится на погрешность взаимного расположения обработанных поверхностей. Использование искусственных технологических баз и дополнительных опорных поверхностей обычно повышает общую трудоемкость обработки и часто приводит к дополнительному расходу металла.

1.4.9. Назначение технологических баз

Одним из наиболее сложных и принципиальных разделов проектирования технологических процессов механической обработки является назначение технологических баз. От правильности решения вопроса о технологических базах в значительной степени зависят: фактическая точность выполнения линейных размеров, заданных конструктором; правильность взаимного расположения обработанных поверхностей; точность обработки, которую должен выдержать рабочий при выполнении запроектированной технологической операции; степень сложности и конструкция необходимых приспособлений, режущих и мерительных инструментов; общая производительность обработки заготовок.

При автоматизации производства, развитии гидрокопировальных устройств и применении станков с числовым программным управлением (в том числе обрабатывающих центров) значение правильного выбора технологических баз еще более возрастает, так как все эти виды обработки основываются на принципе автоматического получения размеров, в котором технологическая база является одним из основных составляющих элементов. В связи с этим вопрос о выборе технологических баз решается технологом в самом начале проектирования технологического процесса одновременно с вопросом о последовательности и видах обработки отдельных поверхностей заготовки. При этом назначение технологических баз начинается с выбора технологической базы для выполнения первой операции.

1.4.10. Принцип совмещения (единства) баз

Суть принципы в том, что технолог должен совмещать свою технологическую базу с конструкторской. При нарушении этого принципа неизбежно возникает дополнительная погрешность размеров, названная погрешностью базирования и равная допуску на размеры, соединяющие на чертеже несовмещенные конструкторские и технологические базы. Появление погрешности базирования вынуждает технолога пересчитывать размеры и допуски в сторону ужесточения последних, но это не всегда помогает. Сказанное можно проиллюстрировать следующим примером. При обработке паза на глубину 10Н14 (рис. 1.49, а) для упрощения конструкции приспособления удобно установить заготовку на нижнюю поверхность В (рис. 1.49, г). Так как дно паза С связано размером $10 + 0{,}36$ с верхней плоскостью А, эта плоскость является для паза конструкторской базой. В этом случае технологическая база — поверхность В не совпадает с конструкторской и не связана с ней ни размером, ни условием правильного взаимного расположения. Поскольку при работе на настроенном станке расстояние от оси фрезы до плоскости стола сохраняется неизменным (к = const), а, следовательно, постоянен и размер с, отсутствующий на чертеже, то размер глубины паза $a = 10 + 0{,}36$ мм не может быть выдержан, так как на его колебание непосредственно влияет погрешность размера $b = 50 - 0{,}62$ мм, выдерживаемого на предыдущей операции (рис. 1.49, б). Очевидно, что на операционном эскизе фрезерования паза в этом случае следует поставить технологический размер с, точность которого не зависит от предыдущей операции, а конструкторский размер $a = 10 + 0{,}36$ мм мм целесообразно с эскиза снять. Расчет технологического размера с, а также нового технологического допуска размера b можно произвести, исходя из размерной цепи, приведенной на рис.1.49, в. Из рисунка видно, что $c = b - a = 50 - 10 = 40$ мм.

Допуск размера с определяется из той же размерной цепи, в которой замыкающим размером является конструкторский размер $a = 10 + 0{,}35$ мм, так как весь расчет производится на основании предпосылки, что размер а должен быть автоматически получен в пределах заданного конструктором

допуска при выполнении составляющих размеров цепи b и c в пределах установленных для них до- пусков. По методу расчета РЦ на максимум и минимум $Ta = Tb + Tc$, откуда $Tc = Ta - Tb$. Подставляя соответствующие значения, получаем $Tc = 0{,}36 - 0{,}62$. Так как допуск — величина сугубо положительная и отрицательной быть не может, полученное уравнение не может быть решено без увеличения, уменьшаемого или без уменьшения вычитаемого.

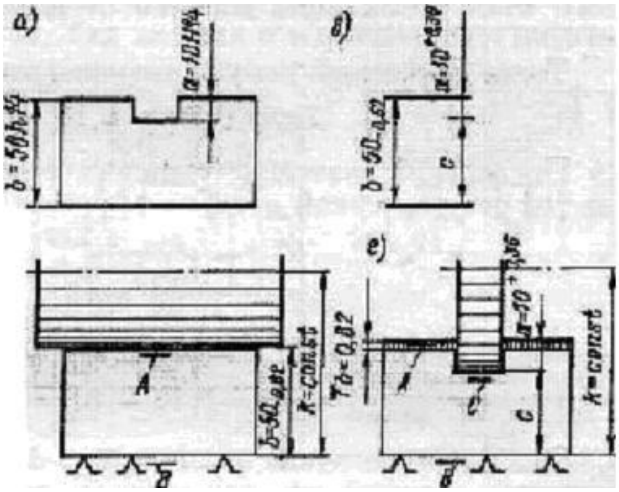


Рис. 1.49. Фрезерование паза от опорной технологической базы В, не совпадающей с конструкторской

Допуск размера ***a*** задан конструктором и не может быть увеличен, поэтому единственным способом решения поставленной задачи является уменьшение вычитаемого, т. е. ужесточение допуска на размер ***b***. Уменьшение ***Tb*** следует произвести таким образом, чтобы на размер ***b*** и на технологический размер с были установлены технологически выполнимые допуски. Так как с технологической точки зрения сложность выполнения размеров ***b*** и ***c*** одинакова (оба размера лежат в одном интервале размеров и получаются на горизонтально-фрезерном станке от опорной технологической базы), допуск размера ***b*** ужесточается до величины $Tb = 0{,}18$ мм, равной половине допуска исходного размера ***a***. В этом случае на технологический размер с можно назначить допуск, близкий установленному допуску размера ***b.***

Окончательно размер ***b*** назначается с допуском, равным ближайшему стандартному с сохранением установленного чертежом минусового отклонения поля допуска от номинала. Тогда расчетный допуск технологического размера $Tc = 0{,}36 - 0{,}16 = 0{,}20$ мм.

Таким образом, в связи с несовпадением технологической и конструкторской (измерительной) баз рабочему фактически приходится выдерживать заметно более жесткие допуски по сравнению с допусками, установленными конструктором. Если столь значительное повышение требуемой точности обработки приведет к чрезмерному снижению производительности и возрастанию себе- стоимости продукции, то может

оказаться целесообразным использовать специальное приспособление, позволяющее осуществить фрезерование паза непосредственно от конструкторской базы А. Технологическая контактная база — плоскость А является одновременно конструкторской базой, от которой без всяких пере счетов непосредственно выдерживается конструкторский размер ***a*** = 10+0,36 мм. Колебание размера ***b*** никак не отражается на точности получения конструкторского размера, поэтому ужесточения допусков здесь производить нет необходимости.

На рис. 1.50, б показано фрезерование паза комплектом фрез одновременно с плоскостью А. Так же, как и в предыдущем случае,

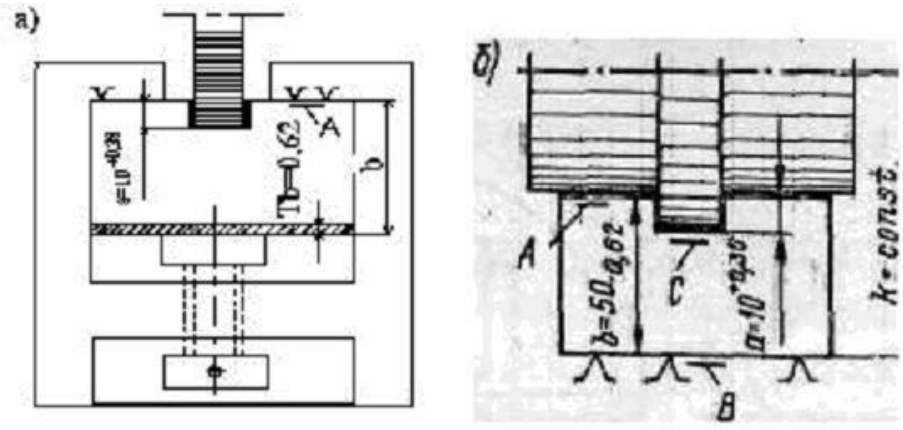


Рис. 1.50. Фрезерование паза от технологической базы А, совпадающей с конструкторской

паз обрабатывается от технологической базы — плоскости А (являющейся здесь настроечной), совпадающей с конструкторской. Конструкторский размер $a = 10 + 0{,}36$ мм выдерживается без всяких пересчетов, и никакого ужесточения допусков, установленных конструктором, здесь также не требуется. Плоскость В служит контактной технологической базой для обработки плоскости А на размер ***b***, который тоже может выполняться с установленным чертежом допуском Tb — 0,62 мм без его ужесточения.

Рассмотренные примеры обработки призматической заготовки с прямоугольным пазом показывают, что при разработке технологических процессов технолог может использовать различные виды технологических баз. Варианты возможных технологических процессов имеют свои достоинства и недостатки. Например, при обработке заготовки от контактных технологических баз, не совмещённых с конструкторскими базами, возникает необходимость пересчета размеров и значительного ужесточения допусков, что приводит к снижению производительности и удорожанию обработки.

Зато для изготовления заготовки не требуется специальных приспособлений или инструментов. При обработке заготовки от контактных технологической базы, совмещенной с конструкторской, имеется возможность непосредственно выдерживать конструкторские размеры баз

пересчета и ужесточения данных конструктором допусков, а, следовательно, и без снижения производительности обработки, однако требуется создавать специальное и не всегда удобное приспособление. Если размеры выдерживаются от настроечной технологической базы, совмещенной с конструкторской, пересчитывать и ужесточать допуски также не приходится, но для выполнения операции требуется набор режущих инструментов. Выбор наилучшего варианта технологического процесса производится на основании технико-экономического расчета с учетом конкретных условий производства. Вторым важным принципом, которым следует руководствоваться при назначении баз, является принцип постоянства баз.

1.5.11. Принцип постоянства баз

Принцип постоянства баз заключается в том, что при разработке технологического процесса необходимо стремиться к использованию одной и той же технологической базы, не допуская без особой необходимости смены технологических баз (не считая смены черновой базы). При нарушении этого принципа неизбежно возникает дополнительная погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных баз.

Стремление осуществить обработку на одной технологической базе объясняется тем, что всякая смена технологических баз увеличивает погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных технологических баз, дополнительно внося в нее погрешность взаимного расположения самих технологических баз, от которых производилась обработка поверхностей. Например, если на заготовке требуется обеспечить совмещение оси симметрии четырех малых отверстий с осью центрального отверстия в пределах допустимой погрешности $= \pm 0{,}1$ мм, а расточка центрального отверстия на токарном станке и сверление четырех малых отверстий в кондукторе выполняются при использовании различных баз А и В, то фактическая величина смещения осей возрастает на величину по- грешности взаимного расположения использованных баз, т. е. на величину допуска на размер 100. Это подтверждает расчет технологической размерной цепи:

$$\Delta^{max} = 100_{max} - 50_{min} - 30 - 20_{min} = 100 - (50 - 0{,}05) - 30 - (20 - 0{,}05) = +0{,}1 мм;$$

$$\Delta^{min} = 100_{min} - 50_{max} - 30 - 20_{max} = 100 - 0{,}46 - (50 + 0{,}05) - 30 - (20 + 0{,}05) = -0{,}56 мм;$$

В связи с тем, что сверление малых отверстий выполняется по кондуктору, расстояние между ними (размер 60) выполняется точно, поэтому в расчете размер 30 условно принят постоянным. Нетрудно убедиться в том, что при выполнении обеих операций от неизменной базы (например, от плоскости А) колебание величины смещения осей уменьшается, так как оно определяется из более короткой технологической размерной цепи, не включающей в себя размер 100, т. е.:

$$\Delta^{max} = 50_{max} - 30 - 20_{min} = 50 + 0{,}05 - 30 - (20 - 0{,}05) = +0{,}1 мм;$$

$$\Delta^{min} = 50_{min} - 30 - 20_{max} = 50 - 0{,}05 - 30 - (20 + 0{,}05) = -0{,}1 мм;$$

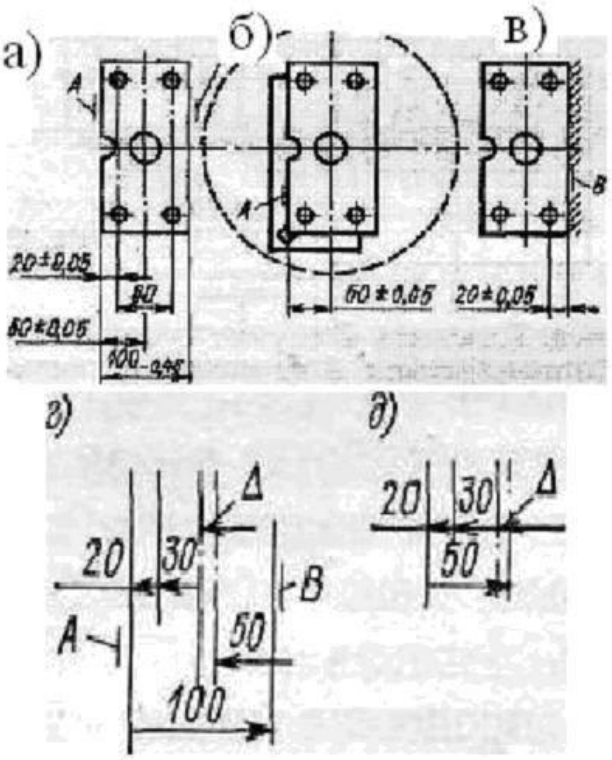


Рис. 1.51. Применение принципа постоянства баз при расточке и сверлении

При этом требование чертежа о совмещении осей в пределах погрешности ±0,1 мм выполняется. Сохранение постоянной технологической базы при обработке заготовок на различных операциях снижает погрешности взаимного расположения обработанных поверхностей, однако на практике встречаются случаи, когда выполнение этого требования приводит к чрезмерному усложнению конструкции приспособлений и их удорожанию. В этих случаях технолог вынужден заменять технологические базы, выбирая наиболее удобные и производя соответствующие расчеты увеличения погрешности взаимного расположения поверхностей.

При решении вопроса о том, какую из разновидностей технологических баз лучше всего применить в проектируемом технологическом процессе, следует учесть изложенные выше данные об особенностях проверочных, настроечных и контактных технологических баз.

Наиболее целесообразно и удобно использовать настроечные технологические базы при построении технологического процесса по принципу концентрации операций, когда обработка заготовки осуществляется за небольшое число сложных по своему содержанию операций с применением комбинированного многолезвийного и фасонного инструмента и сложных настроек станков при многопозиционной обработке, при обработке на копировальных станках, автоматах, станках с ЧПУ и при групповой обработке.

При разработке технологического процесса обработки крупных и точных заготовок единичного производства, когда затраты времени на их установку и выверку составляют лишь незначительную часть основного времени обработки заготовки, а изготовление крупных и сложных специальных приспособлений, необходимых при использовании настроечных и контактных технологических баз, экономически не оправдывается, допускается применение проверочных технологических баз. В обычных условиях крупносерийного производства проверочные технологические базы следует использовать только в виде исключения при обработке особо точных заготовок и сборочных единиц, когда их высокая точность не может быть достигнута с помощью других разновидностей технологических баз.

При работе с новейшими измерительными и управляющими устройствами, ускоряющими и автоматизирующими выверку положения заготовок на станках, применение проверочных баз становится рациональным не только при серийном, но и массовом производстве, особенно в случае необходимости достижения высокой точности расположения обработанных поверхностей.

1.5. Оценка точности механической обработки партии заготовок и методы ее обеспечения

В предыдущих пунктах рассматривалась точность обработки отдельной детали. Если перейти от точности отдельной детали к точности совокупности деталей - партии (или нескольких партий), то можно прийти к новым закономерностям и выводам, которые могут быть использованы как при оценке технологического процесса механической обработки деталей в отношении точности, так и технологическом обеспечении, и контроле точности.

1.5.1. Виды погрешностей, возникающих при механической обработке

При исследованиях точности обработки партии заготовок используются положения теории вероятностей и математической статистики. В соответствии с теорией вероятностей и математической статистики все погрешности, возникающие при изготовлении заготовок, деталей и их сборке, разделяются на три вида:

1) систематические постоянные;
2) систематические закономерно изменяющиеся;
3) случайные.

Систематические постоянные погрешности ($\Delta_{сис}$) — это погрешности, которые не изменяются при обработке всех деталей партии или нескольких партий деталей и возникают вследствие постоянно действующих факторов. Примерами таких погрешностей могут служить:

а) неперпендикулярность оси отверстия плоскости основания из-за неперпендикулярности оси шпинделя плоскости стола станка;

б) конусообразность вала из-за непараллельности оси шпинделя направляющим станка;

в) неточность расстояния между осями отверстий из-за неточности кондуктора;

г) неточность диаметра отверстия из-за неточности развертки.

Этот вид погрешности легко выявляется пробными проходами или испытаниями оснастки и устраняются соответствующими способами.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически. К примеру, износ режущего инструмента, его температурные деформации и т. п. В этом случае на основе результатов исследований выявляется закон действия таких погрешностей на точность размеров и формы деталей, и принимаются соответствующие меры для их уменьшения или исключения.

Случайная погрешность — это такая погрешность, которая для разных заготовок рассматриваемой партии имеет различные значения, причем ее появление не подчиняется никакой видимой закономерности. Возникают случайные погрешности в результате действия большого числа не связанных между собой факторов. К ним относятся колебания твердости обрабатываемого материала и величины снимаемого припуска, изменения положения исходной заготовки в приспособлении, связанные с погрешностями ее базирования и закрепления или обусловленные неточностями приспособления; неточности установки положения суппортов по упорам и лимбам; колебания температурного режима обработки и упругих отжатий элементов технологической системы под влиянием нестабильных сил резания и т. п.

В результате действия случайных погрешностей происходит рассеяние размеров заготовок, обработанных при одних и тех же условиях. Связь между случайными погрешностями и вызывающими их появление факторами устанавливают двумя методами:

- аналитическим;
- статистическим.

Аналитический расчет может быть выполнен при явно выраженной связи между случайной погрешностью и вызывающими ее появление факторами. Пределы изменения случайной величины, например, колебания размера предельных расстояний от поверхности - измерительной базы - до обрабатываемой поверхности, можно заранее вычислить, зная допуск на размер заготовки. При неявно выраженной связи пределы изменения случайной величины могут быть определены экспериментально.

При аналитическом расчете результирующей погрешности $\Delta_{рез}(\Delta_1,\Delta_2,...,\Delta_3)$ получаемые предварительным расчетом или экспериментальным путем первичные погрешности $(\Delta_1,\Delta_2,...,\Delta_3)$ складываются алгебраически,

если они систематические, и по закону квадратного корня, если они случайные:

$$\Delta_{\text{рез}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \ldots + \Delta_{\text{п}}^2}$$

Следует подчеркнуть, что аналитические расчеты погрешностей сложны и весьма трудоемки, а поэтому не всегда выполнимы в производственных условиях. Как правило, такие расчеты применяются при составлении типовых нормативов точности механической обработки, которыми пользуются технологи иногда как исходными ориентировочными, иногда как окончательными данными при выборе способа обработки, оборудования, оснастки, инструмента, при проектировании технологического процесса механической обработки.

Наиболее широко для определения точности, корректировки и контроля действующего технологического процесса механической обработки, применяется статистический метод.

Статистический метод расчета (оценки) точности обработки применим в условиях изготовления большого числа (не менее 25-50) одинаковых деталей, обработанных по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках.

1.5.2. Законы рассеяния (распределения) размеров

При обработке партии заготовок на предварительно настроенных станках в результате возникновения случайных погрешностей истинный размер каждой заготовки является случайной величиной и может принимать любое значение в границах определенного интервала. Совокупность значений истинных размеров Заготовок, обработанных при неизменных условиях и расположенных в возрастающем порядке с указанием частоты повторения этих размеров или частостей, называется распределением размеров заготовок. При этом под частостью понимается отношение числа заготовок одного размера к общему числу заготовок партии.

Кривые распределения строятся следующим образом. Всю совокупность измерений интересующего нас размера в партии деталей разбивают на ряд групп. В каждую группу входят величины размеров, результаты измерений которых находятся в пределах установленного интервала (количество интервалов берется в пределах 7-11).

Величины интервалов откладывают по оси абсцисс, а количество деталей, размеры которых находятся в пределах каждого интервала (частоту $\boldsymbol{m}$ или отношение $\boldsymbol{m}$ к количеству деталей в партии $\boldsymbol{n}$, $\frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{n}}$- частость) - по оси ординат (рис.1.52).

В результате построения получается ломаная линия 1, называемая гистограммой распределения. Если последовательно соединить между собой точки, соответствующие середине каждого интервала, то образуется

ломанная кривая, которая носит название эмпирической кривой распределения, или полигона распределения. При значительном количестве замеренных заготовок и большом интервале размеров ломаная эмпирическая кривая приближается по форме к плавной кривой, именуемой кривой распределения.

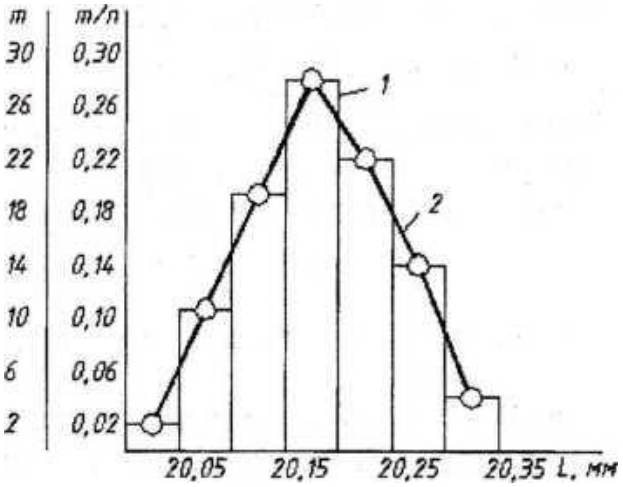


Рис. 1.52. Распределение измеренных размеров заготовок.

Для размерных условий обработки заготовок рассеяние их действительных размеров подчиняется различным математическим законам. В технологии приборостроения большое практическое значение имеют следующие законы: нормального распределения (закон Гаусса), равнобедренного треугольника (закон Симпсона), эксцентриситета (закон Рэлея), законы равной вероятности и функции распределения, представляющие собой композицию этих законов.

Закон нормального распределения (закон Гаусса). Многочисленными исследованиями установлено, что распределение действительных размеров заготовок, обработанных по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках, чаще всего подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса).

Теоретическое обоснование этого положения вытекает из выполнения условий действия закона нормального распределения при обработке деталей из заготовок: влияние каждого сказывающегося на точности обработки слагаемого на сумму ничтожно мало и примерно одинаково, т. е. среди слагаемых нет доминирующих, и в состав суммы входит большое число взаимно независимых случайных величин. Соответствие закону нормального распределения тем точнее, чем больше слагаемых (теорема Ляпунова).

При механической обработке это условие соблюдается, так как результирующая погрешность обработки обычно представляет собой сумму большого числа погрешностей, зависящих от станка, приспособления, инструмента и заготовки (как видно из ранее приведенного анализа причин, вызывающих погрешности размеров и формы деталей, по существу, представляют собой взаимно независимые случайные величины), влияние каждой из которых на результирующую погрешность имеет один порядок.

Уравнение кривой распределения имеет следующий вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(L_i - L_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}}$$

где σ - среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sum(\text{L}_\text{i}\text{-L}_{\text{ср}})^2 \frac{\text{m}_\text{i}}{\text{n}}} = \sqrt{\frac{1}{\text{n}}\sum(L_i - L_{\text{ср}})^2 m_i},$$

$\boldsymbol{L_i}$ - текущий действительный размер; $\boldsymbol{L}_{\text{ср}}$- среднее арифметическое значение действительных размеров заготовок данной партии.

Значение $\boldsymbol{L}_{\text{ср}}$можно определить из выражения:

$$L_{\text{ср}} = \sum L_i \frac{m_i}{n} = \frac{1}{\text{n}} \sum L_i m_i$$

где $\boldsymbol{m_i}$- частота (количество заготовок данного интервала размеров); $\boldsymbol{n}$ - количество заготовок в партии.

На рис. 1.53 показана кривая, характеризующая дифференциальный закон нормального распределения. Среднее арифметическое действительных размеров заготовок данной партии характеризует положение центра группирования размеров.

Анализ уравнения показывает, что кривая нормального распределения симметрична относительно оси ординат. Значениям $\boldsymbol{x}$ и $\boldsymbol{-x}$

соответствует одинаковая величина ординаты $\boldsymbol{y}$. При … кривая имеет максимум, равный:

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0{,}4}{\sigma}$$

На расстоянии $\boldsymbol{\sigma}$ от вершины кривая имеет две точки перегиба (точки $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{B}$). Ордината точек перегиба:

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} = \frac{y_{max}}{\sqrt{e}} \approx 0{,}6 y_{max} \approx \frac{0{,}24}{\sigma}$$

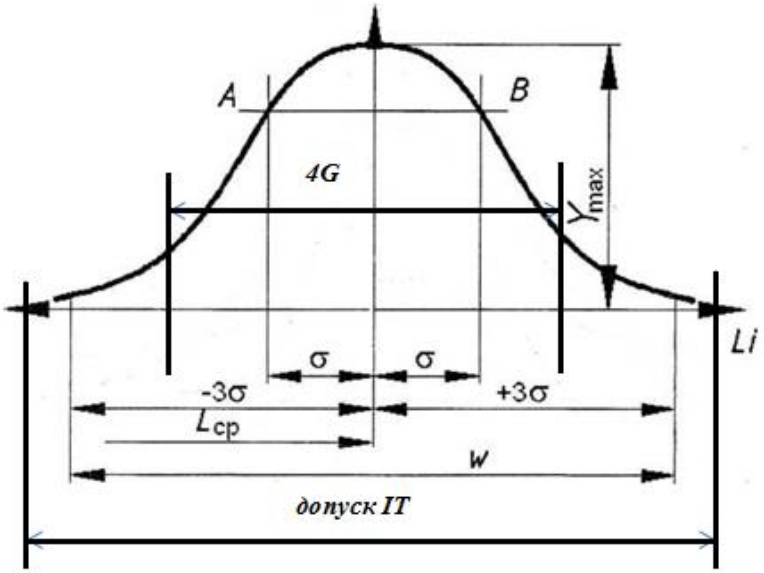


Рис. 1.53. Кривая нормального распределения (закон Гаусса).

Кривая асимптотически приближается к оси абсцисс. На расстоянии от положения вершины кривой ее ветви так близко подходят к оси абсцисс, что в этих пределах оказывается 99,73% площади, заключенной между всей кривой нормального распределения и осью абсцисс. Для практических целей принимается, что на расстоянии $\boldsymbol{3\sigma}$ от положения вершины кривой нормального распределения ее ветви пересекаются с осью абсцисс.

При увеличении $\boldsymbol{\sigma}$ значение ординаты $\boldsymbol{y_{max}}$ уменьшается, а поле рассеяния $\boldsymbol{\omega = 6\sigma}$ возрастает. В результате этого кривая становится более пологой и низкой, что свидетельствует о большем рассеянии размеров и, следовательно, меньшей точности. В этом смысле среднее квадратическое отклонениеа является мерой рассеяния или мерой точности. На рис. 1.54 показано влияние значения $\boldsymbol{\sigma}$ на форму кривых нормального распределения. Фактическое поле рассеяния размеров заготовок:

$$\omega = 6\sigma.$$

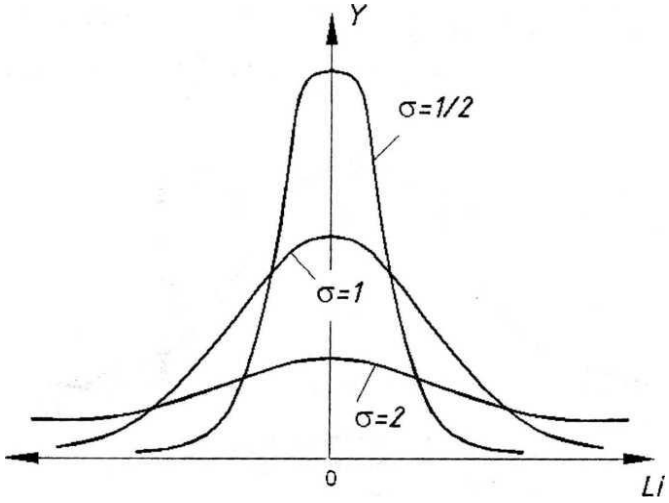


Рис. 1.54. Влияние среднего квадратического отклонения на форму кривой нормального распределения.

На практике под влиянием различных причин систематического и случайного характера вершина кривой распределения может смещаться по отношению к середине поля рассеяния в ту или иную сторону, а форма кривой может изменяться. В результате фактическая кривая нормального распределения может стать несимметричной. При этом координата центра группирования размеров ***EmAi,*** определяющая положение центра группирования отклонений относительно номинального размера ***Ai,*** является математическим ожиданием величины отклонения. Она равняется среднему взвешенному арифметическому значению отклонения и, очевидно, в этом случае не равняется координате середины поля рассеяния $\boldsymbol{Ec\omega_{Ai}}$, , т.е. $\boldsymbol{EmAi \neq Ec\omega_{Ai}}$.

Смещение центра группирования характеризуется величиной коэффициента относительной асимметрии $\boldsymbol{\alpha}$, величина которого определяется формулами:

$$\alpha = \frac{EmAi - Ec\omega}{\omega/2} \text{ или } \quad \alpha = \frac{EmAi - EcAi}{IT/2},$$

где ***EcAi-*** координата середины поля допуска ***IT.***

Таким образом, коэффициент $\boldsymbol{\alpha}$ определяет величину смещения математического ожидания (центра группирования) отклонений ***EmAi*** относительно середины поля рассеяния (или поля допуска) в долях половины поля рассеяния (допуска).

Значения α находятся в пределах от 0 до ±5 и определяются опытным путем или берутся из соответствующих таблиц. В тех случаях, когда условия обработки бывают неизвестны, часто принимают $\boldsymbol{\alpha = 0}$, считая кривую распределения симметричной.

При определении среднего квадратического отклонения по данным непосредственных измерений заготовок и расчетов погрешность определения среднего квадратического, обозначаемого в этом случае буквой ***S,*** зависит от общего количества ***n*** измеренных заготовок и в отдельных случаях весьма значительна. Учитывая это обстоятельство, для предотвращения возможного появления брака целесообразно при использовании формулы $\boldsymbol{\omega = 6\sigma}$ принять соотношение

$$\Sigma = pS$$

где ***S-*** среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле (74) на основании данных замеров партии заготовок; ***p*** **-** коэффициент, учитывающий погрешность определения среднего квадратического при малых размерах партии измеренных заготовок (табл. 1.9.3).

Таблица 3.

n,	ΔS,	***p***	***n,***	ΔS,	***p***
25	42,	1,4	200	15,	1,1
50	30,	1,3	300	12,	1,1
75	25,	1,2	400	10,	1,1
100	21,	1,2	500	10,	1,1

Закон нормального распределения (закон Гаусса) в большинстве случаев оказывается справедлив при механической обработке заготовок с точностью 8-го, 9-го и 10-го квалитетов и грубее.

Закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона). При обработке заготовок с точностью 7-го и 8-го, а в некоторых случаях и 6-го квалитетов, распределение их размеров в большинстве случаев подчиняется закону Симпсона, который графически выражается равнобедренным треугольником (1.89). Поле рассеяния в этом случае равно:

$$\omega = 2\sqrt{6}\sigma \approx 4{,}9\sigma$$

Закон равной вероятности. Рассеяние размеров зависит только от переменных систематических погрешностей, к примеру, износа режущего инструмента, распределение действительных размеров партий обработанных заготовок подчиняется закону равной вероятности. Так, при установившемся износе режущего инструмента уменьшение его размеров во времени подчиняется прямолинейному закону, что соответственно увеличивает (при обработке валов) или уменьшает (при обработке отверстий) диаметры обрабатываемых заготовок.

Естественно, что изменение размеров обрабатываемых заготовок на величину ***2L = b - a*** за период времени ***T_2 — T_1*** также происходит по закону прямой линии (рис. 1.55, а). В этом случае распределение размеров заготовок в интервале от, ***a*** до ***b*** происходит по закону равной вероятности, который графически выражается прямоугольником (рис. 1.55, б) с основанием ***2L*** и высотой (ординатой) ***1/2L.***

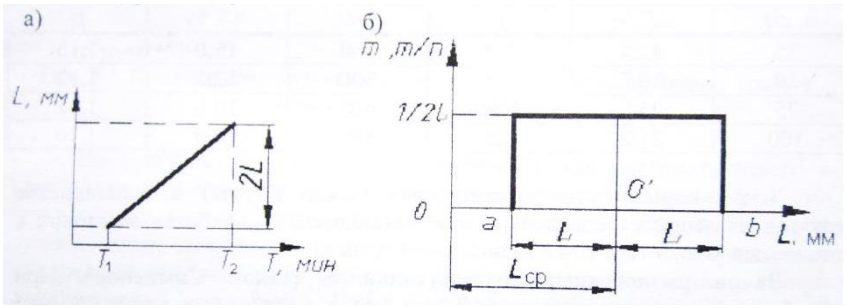


Рис. 1.55. Распределение размеров обработанных заготовок по закону равной вероятности.

Площадь прямоугольника равна единице, что означает 100-процентную вероятность появления размера заготовки в интервале от a до b.

Среднее арифметическое значение размера:

$$Z_{ср} = \frac{a + b}{2}$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{e}{\sqrt{3}} \approx 0{,}577e$$

Фактическое поле рассеяния:

$$\omega = 2\sigma\sqrt{3} \approx 3{,}46\sigma$$

Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров заготовок повышенной точности (5-6-ой квалитеты и выше) при их обработке по методу пробных ходов и промеров. Дело в том, что из-за сложности получения размеров очень высокой точности вероятность попадания размера заготовки в узкие границы допуска по среднему, наибольшему или наименьшему его значению становится одинаковой.

Закон эксцентриситета (закон Релея). Распределение таких существенно положительных величин как эксцентриситет, биение, разностенность, не параллельность, неперпендикулярность, овальность, конусообразность и некоторых других, которые характеризуются их абсолютными значениями, т. е. без учета знака.

Распределение по этому закону формируется тогда, когда случайная величина R является радиус-вектором при двумерном гауссовом распределении, т. е. если она представляет собой геометрическую сумму двух случайных величин x и y:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2},$$

каждая из которых подчиняется закону Гаусса с параметрами:

$$L_{x_{ср}} = L_{y_{ср}} = L_{R_{ср}} = 0\,, \sigma_x = \sigma_y = \sigma_0.$$

Закон распределения Релея однопараметрический, и уравнение его кривой распределения имеет вид:

$$y = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e^{\frac{R^2}{2\sigma_0^2}}$$

где $\boldsymbol{\sigma_0}$- среднее квадратическое отклонение значений координат $\boldsymbol{x}$ и $\boldsymbol{y}$.

На рис. 1.56, а показано образование эксцентриситета (радиус-вектора R) втулки 1 при ее обработке на цилиндрической оправке 2 при различии зазора между оправкой и отверстием втулки.

Графическое изображение теоретической кривой распределения по закону Релея приведено на рис. 1.56, б. Для нее характерны крутой подъем восходящей ветви и более пологий спуск нисходящей ветви. При этом вершина кривой более заострена, чем у кривой нормального распределения, и смещена от среднего значения переменной величины R в сторону начала координат. При R= 0 и y= 0, т. е. начало кривой распределения эксцентриситета совпадает с началом координат. Нисходящая ветвь этой кривой асимптотически приближается к оси абсцисс.

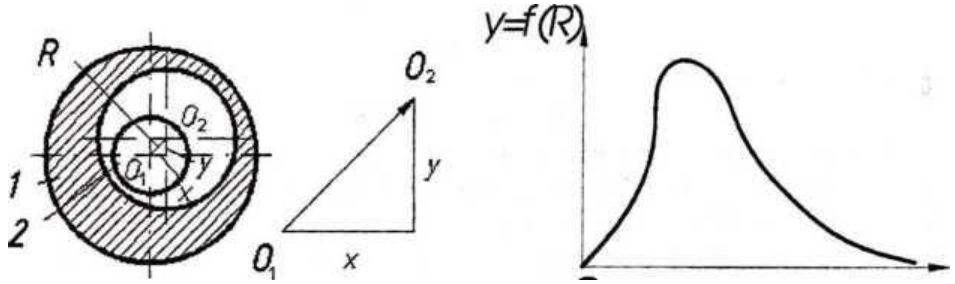


Рис. 1.56. Образование эксцентриситета (радиус-вектора ***R***) втулки 1 при ее обработке на цилиндрической оправке 2 при наличии зазора между оправкой и отверстием втулки (а) и функция ***y=f(R)*** распределения размеров по закону Релея (б).

Среднее арифметическое $\boldsymbol{R_{ср}}$ переменой случайной величины (эксцентриситета, биения и др.), ее среднее квадратическое отклонение σ_R, и среднее квадратическое отклонение σ_0 значение координат $\boldsymbol{x}$ и $\boldsymbol{y}$ конца радиус-вектора $\boldsymbol{R}$ связаны между собой следующими соотношениями:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_R}{0{,}655}$$

$$\mathrm{R_{ср}} = 1{,}92, \sigma_\mathrm{R} = 1{,}253\sigma_0.$$

Фактическое поле рассеяния значения переменной величины радиус-вектора $\boldsymbol{R}$ (эксцентриситета, разностенности, непараллельности и др.) находят из выражений:

$$\omega = 5{,}252\sigma_R, \quad \omega = 3{,}44\sigma_0.$$

Композиции законов распределения и суммирования погрешностей. В процессе обработки заготовок на точность их размеров часто одновременно воздействуют различные факторы, вызывающие появление как случайных погрешностей, образующихся по разным законам, так и систематических или переменных систематических погрешностей.

В таких случаях закон распределения размеров обработанных заготовок представляет собой композицию нескольких законов распределения.

Рассмотрим случай, когда на размеры заготовок одновременно оказывают влияние случайные причины, вызывающие рассеяние размеров по закону Гаусса, и систематические погрешности $\boldsymbol{\Delta_{сис}}$. В результате исходная кривая Гаусса (рис. 1.57, а) смещается на величину этой систематической погрешности, сохраняя при этом свою форму (рис. 1.57 б).

Для этого случая поле суммарного рассеяния размеров заготовок определяется из выражения:

$$\Omega = 6\sigma + \Delta_{\text{сис}}$$

Такая ситуация может иметь место, к примеру, при развертывании партии заготовок, когда рассеяние размеров диаметров подчиняется законунормального распределения с полем рассеяния (рис. 1.57, а). При смене развертки характер рассеяния не изменяется, так как все условия обработки остаются неизменными, однако вершина кривой рассеяния (ее центр группирования) смещается на величину разности диаметров старой и

новой разверток ($\Delta_{сис} = \Delta_н$).(рис. 1.57 б.).

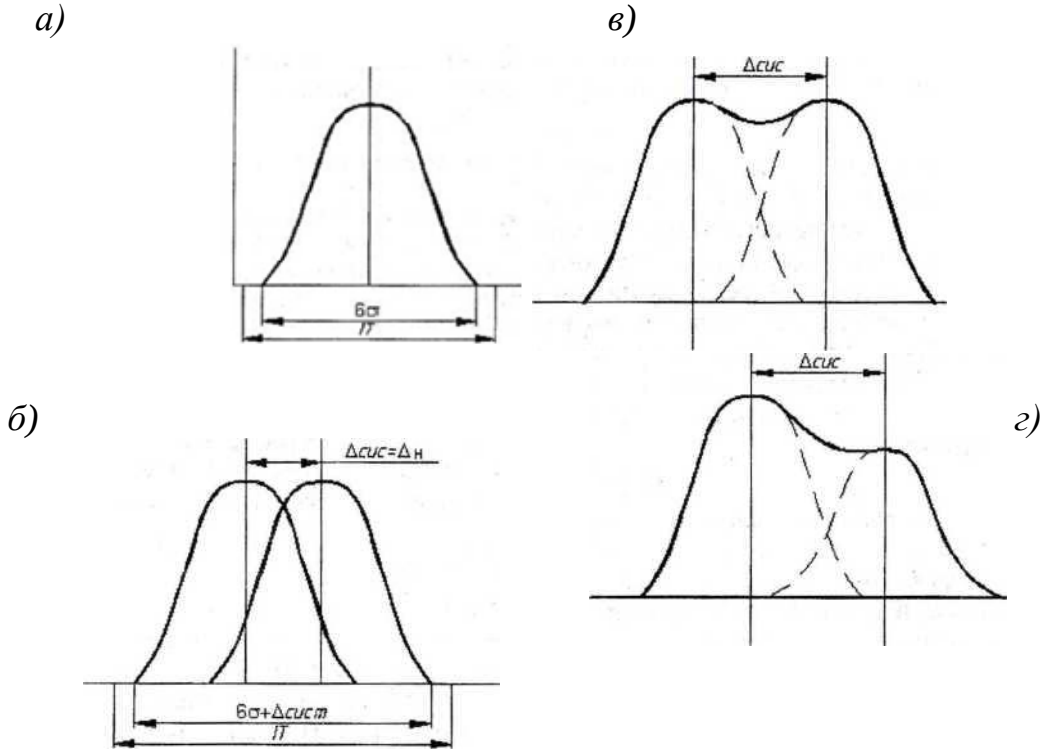


Рис.1.57. Изменение формы суммарной кривой рассеяния под влиянием $\Delta_{сис}$ при обработке нескольких партий заготовок с настройкой станка.

Поле суммарного рассеяния размеров партии заготовок, обработанных обеими развертками также расширяется на величину этой разности. Если при этом кривая рассеяния строится по замерам заготовок без учета систематической погрешности (к примеру, когда измеряется вся партия заготовок, обработанная с несколькими настройками), то форма общей кривой рассеяния искажается и отличается от формы кривой Гаусса. Она может иметь несколько вершин разной высоты соответственно числу настроек и количеству заготовок, обработанных с каждой настройкой (рис. 1.57 б, г).

При вычислении суммарной погрешности обработки систематические погрешности складываются алгебраически, т. е. с учетом их знаков. Причем результат суммирования может привести не только к увеличению, но и к снижению общей погрешности за счет взаимной компенсации влияния составляющих погрешностей. Например, удлинение резца за счет его нагрева, уменьшающее диаметр обтачиваемого вала, может скомпенсировать влияние износа резца, вызывающего увеличение диаметра обработки.

Систематическая погрешность со случайной погрешностью складываются арифметически.

Случайные погрешности, не подчиняющиеся закону Гаусса, при отсутствии доминирующей погрешности суммируются следующим образом:

$$\omega = \sqrt{(k_1\omega_1)^2 + (k_2\omega_2)^2 + \cdots + (k_n\omega_n)^2},$$

где $\boldsymbol{\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n}$- поля рассеяния суммируемых случайных погрешностей; $\boldsymbol{k_1, k_2, \ldots, k_n}$- коэффициенты относительного рассеяния.

Коэффициент относительного рассеяния $\boldsymbol{k_i}$ показывает, во сколько раз отличается фактическое рассеяние значений i-й погрешности от величины рассеяния этой погрешности при ее нормальном распределении с тем же значением. Для закона нормального распределения $\boldsymbol{k}$ = 1,0; для закона Симпсона k = 1,2; для закона равной вероятности k = 1,73.

Из теории вероятностей следует, что при отсутствии доминирующих погрешностей рассеяние суммарной погрешности подчиняется закону Гаусса независимо от законов распределения составляющих погрешностей.

Когда суммируемые погрешности подчиняются закону Гаусса ($k_1 = k_2 = \cdots = k_n = 1{,}0$), поле распределения суммарной погрешности определяется по формуле:

$$\omega = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2}$$

В обычных условиях обработки на предварительно настроенных станках и при отсутствии заметного влияния износа инструмента распределение больших составляющих погрешностей подчиняется закону Гаусса, и можно было бы принять $\boldsymbol{k}$= 1,0. Однако для того, чтобы учесть возможное на практике отступление распределения отдельных составляющих от закона Гаусса, в расчетах для создания некоторой гарантии точности значение $\boldsymbol{\kappa}$ принимают равным 1,2, что равняется распределению, соответствующему закону Симпсона, т. е.

$$\omega = 1{,}2\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2}.$$

1.5.3. Методы оценки точности механической обработки

На практике в условиях серийного и массового производства применяют два метода:

- метод периодического построения кривых распределения действительных размеров обработанных заготовок;
- метод построения точечных диаграмм.

При использовании первого метода по результатам измерений выборки обработанных заготовок периодически строятся кривые распределения их действительных размеров, анализируется положение и форма этих кривых относительно обработки партии заготовок.

При правильном построении технологического процесса по мере перехода от обдирочной к получистовой, чистовой и отделочной обработках величина σ должна уменьшаться, как показано на рис.1.58, т. е. $\sigma > \sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

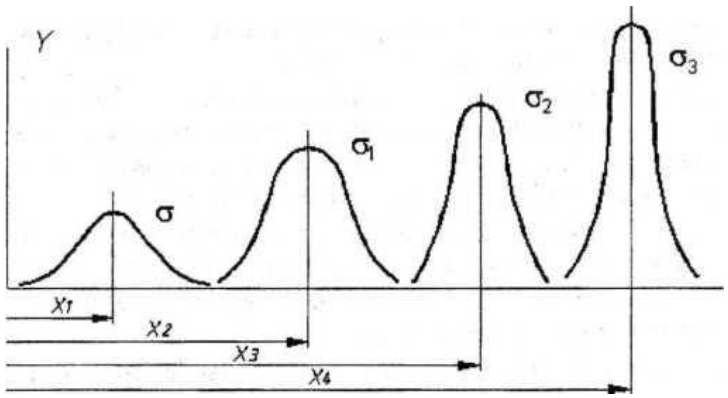


Рис. 1.58. Кривые распределения размеров при обдирочной, получистовой, чистовой и отделочной обработках.

Таким образом, построение кривых распределения дает информацию о правильности построения технологического процесса и настройки станка на заданный размер.

Однако в процессе обработки партии заготовок под действием тех или иных факторов может возникнуть опасность появления брака (сбилась настройка, износился инструмент, изменилась твердость заготовок или величина припуска на их обработку). Периодическое построение кривых распределения в процессе серийного или массового рис. 1.59.

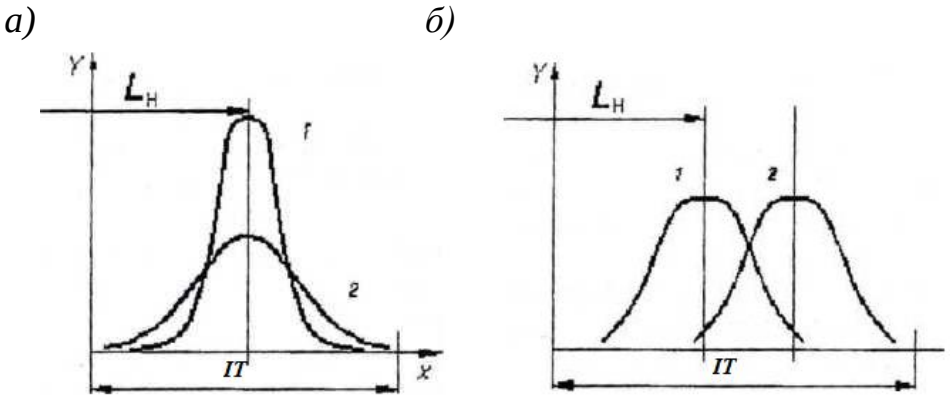


Рис. 1.59. Кривые распределения размеров при появлении случайных погрешностей (а) и при изменении настроечного размера (б).

Если исходная кривая распределения действительных размеров 1 (рис. 1.59, а) через некоторое время обработки становится более пологой (кривая 2), то это свидетельствует о появлении случайных погрешностей, снижающих точность обработки. Поэтому следует проверить твердость и размеры заготовок, состояние станка и приспособления.

Если кривая распределения 1 при неизменной ее форме (σ = const) через некоторое время с момента начала работы сместилась внутри поля допуска (кривая 2, рис. 1.59,б), то это свидетельствует об изменении настроечного размера и необходимости его корректировки.

Именно эти свойства и возможности статистического метода оценки

точности положены в основу статистического контроля на производстве. Одно из его достоинств - возможность профилактики брака, а также определение вероятного процента брака.

В тех случаях, когда нарушено условие работы без брака (6σ<***IT),*** т. е. когда поле рассеивания размеров деталей превосходит поле допуска (6σ>***IT),*** появляется вероятность брака, процент которого необходимо установить и решить вопрос о его допустимости. В ряде случаев на производстве идут на небольшой процент брака, в частности, когда потери из-за брака полностью окупаются значительным сокращением себестоимости обработки, упрощением технологического процесса и сокращением его цикла.

Вероятный процент брака всей партии обработанных деталей вычисляют следующим образом. Принимают с погрешностью не более 27%, что все детали партии имеют действительные размеры в пределах поля рассеивания $6\sigma = L_{нб}^{факт} - L_{нм}^{факт}$. Считают, что площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс (рис. 1.60), равна единице и выражает собой 100% деталей партии. Тогда площадь заштрихованных участков представляет собой количество заготовок (в долях единицы или в процентах), размеры которых выходят за пределы допуска.

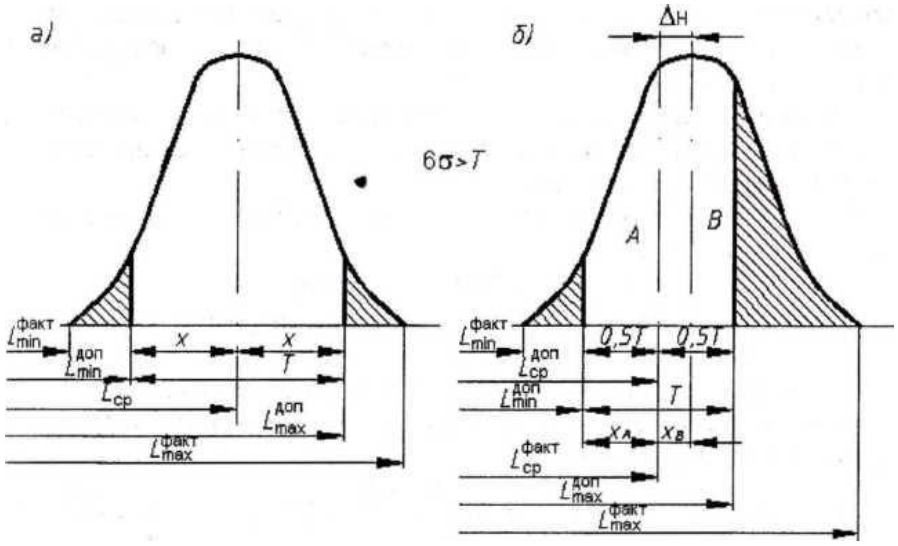


Рис. 1.60. Количество вероятного брака при симметричном (а) и несимметричном (б) расположении поля рассеяния относительно поля допуска.

Для определения количества годных деталей необходимо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс, на длине, равной площади допуска

$$IT = L_{нб}^{доп} - L_{нм}^{доп}$$

где $L_{нб}^{доп}$ и $L_{нм}^{доп}$- соответственно наибольший и наименьший размеры деталей, соответствующие границам поля допуска IT.

При симметричном расположении поля рассеяния относительно поля допуска (рис. 1.60, а) следует найти удвоенное значение интеграла,

определяющего половину площади, ограниченной кривой Гаусса и абсциссой X_0. Это значение определяют по формуле:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

где $z = \frac{L_i - L_{cp}}{\sigma}$.

Решение функции $\Phi(z)$ ***зависит от отношения***

$$z = \frac{x_0}{\sigma},$$

причем значение этой функции табулировано.

Рассмотрим пример определения количества бракованных деталей при обработке на револьверном станке партии латунных валиков, состоящей из 300 шт. Допуск на обработку ***IT***= 0,1 мм. Материал резца – алмаз. Износ за время обработки одной партии чрезвычайно мал. Определим количество годных и бракованных деталей для случая, когда настройка станка обеспечивает симметричное расположение кривой распределения по отношению к полю допуска (рис. 1.61 а). По результатам замеров 75 шт. пробных деталей эмпирическая величина среднего квадратического отклонения ***S*** = 0,02 мм.

Решение. 1. Примем, что распределение размеров подчиняется закону Гаусса (обработка на настроенном станке при отсутствии доминирующих и систематических погрешностей).

2. Определим расчетное значение среднего квадратического отклонения по формуле:

$$\sigma = pS = 1{,}25 \cdot 0{,}02 = 0{,}025 \text{ мм}.$$

3. Определим зону фактического рассеяния размеров:

$$\Delta = 6\sigma = 6 \cdot 0{,}025 = 0{,}15 \text{ мм}.$$

Как видим, эта зона превосходит величину поля допуска ***IT*** = 0,1 мм. Следовательно, условие работы без брака не выполняется ($6\sigma < IT$), и есть вероятность появления брака.

4. Согласно расчету $x_0 = \frac{IT}{2} = \frac{0{,}1}{2} = 0{,}05$ мм, $z = \frac{x_0}{\sigma} = \frac{0{,}05}{0{,}025} = 2{,}0$

Следовательно, $\Phi(z)$ = 0,4772, что соответствует 47,72% годных деталей от половины всей партии (функция $\Phi(z)$решена от 0 до x_0).

Для всей партии количество годных деталей составило 95,44%, или 286 шт., а бракованных, соответственно, 4,56%, или 14 шт.

На практике на основе результатов подобных расчетов для предотвращения появления брака принимают меры, приводящие к уменьшению случайного рассеяния размеров (уменьшению σ) за счет использования точного оборудования, наиболее совершенных точных методов обработки и рационального построения технологического процесса,

применения износостойкого инструмента.

Метод периодического построения кривых распределения наряду с достоинствами (наглядность, достаточно полная характеристика точности обработанных деталей) имеет тот недостаток, что не учитывает последовательности обработки деталей. По этой причине переменные систематические погрешности не могут быть отделены от случайных. От этого недостатка свободен метод построения точечных диаграмм.

При построении этих диаграмм (рис. 1.61) по оси абсцисс откладывают номера последовательно обрабатываемых деталей или другие величины, характеризующие стабильность процесса обработки, а по оси ординат - их размеры (рис. 1.61, а).

Длина диаграммы может быть сокращена, если вместо номеров деталей на оси абсцисс откладывать номера групп деталей, причем в каждую группу входит одинаковое количество последовательно снимаемых со станка деталей. По оси ординат откладывают средние арифметические значения размеров, входящих в каждую группу (рис. 1.61, б). В этом случае влияние закономерно изменяющегося фактора просматривается более отчетливо.

Построение точечных диаграмм используется при статистическом методе контроля хода операции. Выход точки за определенную границу служит сигналом о возможности появления брака и указывает на необходимость подналадки оборудования.

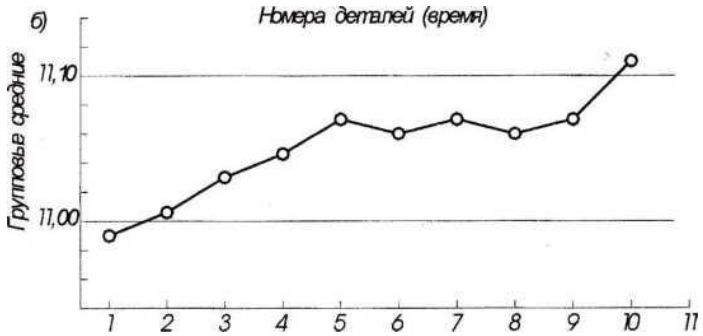


Рис.1.61. Построение диаграмм

В тех случаях, когда необходимо более четко выявить влияние систематических закономерно изменяющихся погрешностей на общую погрешность обработки, строят точностные диаграммы (рис. 1.62).

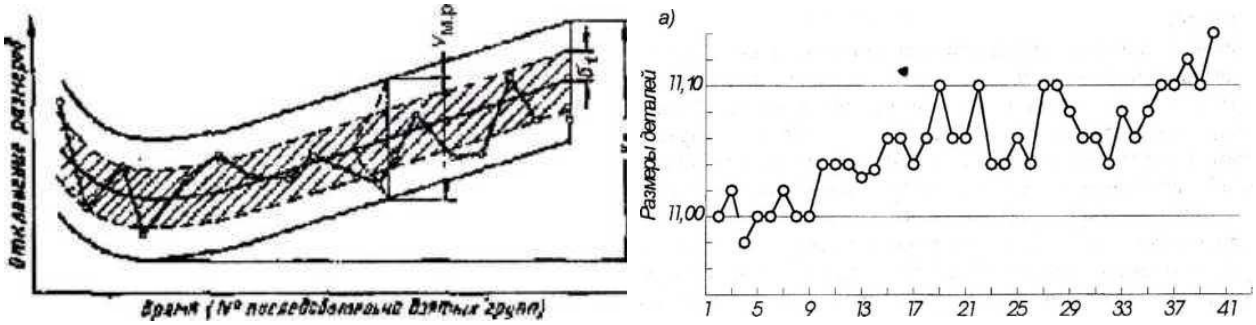


Рис. 1.62. Точностная диаграмма: $v_{\text{м.р.}}$- мгновенное поле рассеивания размеров; v_n- полное поле рассеивания размеров.

На этой диаграмме жирной сплошной линией характеризуется положение центра группирования размеров в различные моменты времени ***t***от начала обработки (линия изменения размера, зависящая от закономерно изменяющегося фактора) или, что-то же самое, для различных порядковых номеров деталей.

Половина узкой заштрихованной полосы соответствует значению σ_t - среднему квадратическому отклонению распределения размеров в данный момент времени. Рассеивание в каждый момент времени (“мгновенное” рассеивание) обусловливается факторами случайного характера. С достаточным для практических целей приближением можно полагать, что “мгновенное” рассеивание подчиняется закону нормального распределения.

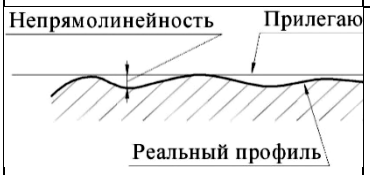
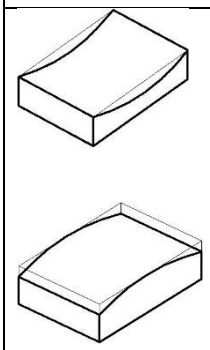
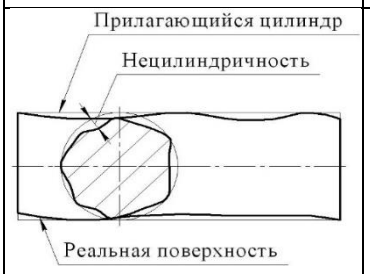
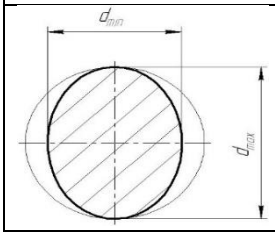
При этих условиях ширина полосы, ограниченной сплошными линиями, определяет собой иоле мгновенного рассеивания $\vartheta_{\text{м.р.}} = 6\sigma_t$. Имея точностную диаграмму, можно установить также закон распределения погрешностей во всей партии деталей и полное поле рассеивания их размеров ϑ_n.

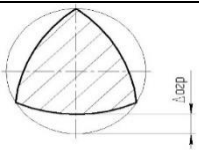
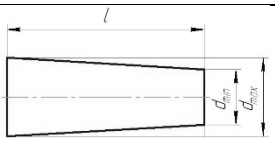
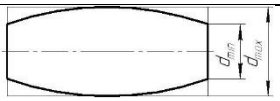
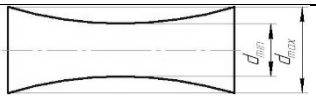
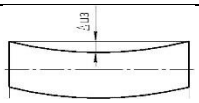
1.5.4. Погрешности механической обработки

Возникающие при механической обработке погрешности можно разделить на следующие группы:

1. Отклонения от заданных размеров (стандарт СЭВ 144-75 “Поля допусков”, стандарт СЭВ 145-75 “Единая система допусков и посадок. Общие положения. Ряды допусков и основных отклонений” и стандарт СЭВ 145-75 “Поля допусков и рекомендуемые посадки”).
2. Отклонения формы (ГОСТ 24643-81 “Допуски формы и расположения поверхностей”).
3. Отклонения от заданного взаимного расположения поверхностей (стандарт СЭВ 636-77 “Численные значения отклонений формы и расположения поверхностей”).
4. Шероховатость поверхности (ГОСТ 2789-73 “Шероховатость поверхности”).

Таблица 15. Виды отклонений

Схема	Отклонение формы
	Неплоскостность
	Непрямолинейность
	Вогнутость/Выпуклость
	Нецилиндричность
	Некруглость
Схема	Отклонение формы
	Овальность $\Delta_{ОВ} = d_{max} - d_{min}$

	Огранка
	Отклонение профиля продольного сечения
	Конусообразность $\Delta_l = \frac{dmax - dmin}{l}$
	Бочкообразность $\Delta_{БОЧК} = d_{max} - d_{min}$
	Седлообразность $\Delta_{СЕДЛ} = d_{max} - d_{min}$
	Изогнутость

Как правило, погрешности размеров, формы, взаимного расположения поверхностей и их шероховатость связаны между собой. Например, погрешности формы - конусообразность, бочкообразность и седлообразность (частные проявления погрешности профиля продольных сечений цилиндрических деталей) обуславливают различие размеров деталей - тел вращения в различных сечениях.

Следовательно, чтобы управлять точностью обработки деталей и надежно технологически ее обеспечивать, необходимо, в первую очередь, знать причины, вызывающие погрешности обработки. При этом следует иметь в виду, что причины, вызывающие погрешности размеров, формы, взаимного расположения поверхностей и их шероховатости, различны.

1.5.5. Причины, вызывающие погрешности размеров

К основным причинам, вызывающим погрешности размеров деталей, относятся:

1. Деформация упругой системы СПИД (станок - приспособление - инструмент - деталь).
2. Неточность и износ инструмента.
3. Температурная деформация в системе СПИД.
4. Ограниченная возможность срезания тонкого слоя материала.
5. Неточность механизма настройки на размер.
6. Неточность настройки станка.
7. Погрешности установки заготовки на станке.

1.5.5.1. Деформация упругой системы СПИД

Технологическая система СПИД представляет собой упругую систему, деформации которой в процессе обработки обусловливают возникновение систематических и случайных погрешностей как размеров, так и геометрической формы обрабатываемых заготовок. Кроме того, эта технологическая система является замкнутой динамической системой, в которой возможно возбуждение и поддержание колебаний и вибраций, влияющих на форму и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Для анализа влияния деформации системы СПИД на точность размеров обратимся к схеме обтачивания гладкого вала, установленного в центрах токарного станка (рис. 1.63).

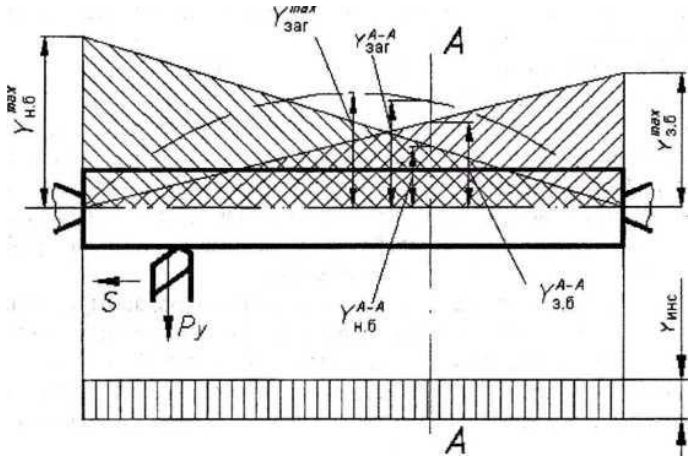


Рис.1.63. Упругие отжатия технологической системы.

В начальный момент обработки, когда резец находится у правого конца вала, вся нормальная составляющая P_y силы резания через заготовку передается на задний центр, пиноль и заднюю бабку станка, вызывая упругие деформации этих элементов в направлении "от рабочего". Это вызывает увеличение расстояния от вершины резца до оси вращения на величину упругих отжатий задней бабки $(y_{з.б})$ и соответствующее возрастание радиуса обработанной заготовки.

Кроме этого, под действием P_y происходит упругое отжатие резца и суппорта в направлении "на рабочего" на величину $y_{инс.}$ Это также влечет за собой увеличение расстояния от вершины резца до оси вращения заготовки, а, следовательно, и радиуса обрабатываемого вала. В результате фактический диаметр обработанного вала оказывается больше диаметра, установленного при настройке, на величину

$$\Delta = 2(y_{з.б} + y_{инс}).$$

В процессе продольного обтачивания при перемещении резца от задней бабки происходит следующее. Отжатие задней бабки уменьшается, но возникают отжатая передней бабки $y_{п.б}$ и обрабатываемой заготовки $y_{заг}$, которые также обуславливают увеличение фактического диаметра обработки. Поэтому в общем случае для некоторого произвольного сечения А-А фактический диаметр обтачиваемого вала оказывается равным:

$$Д_{фкт}^{А-А} = Д_{настр}^{А-А} + 2(y_{з.б}^{А-А} + y_{п.б}^{А-А} + y_{инс}^{А-А} + y_{заг}^{А-А})$$

В силу того, что упругие отжатая элементов системы, за исключением $y_{инс}$, изменяются по длине обрабатываемой заготовки, то ее диаметр, а, следовательно, и форма оказываются переменными по длине. При этом погрешности размера и формы заготовки в данном случае равняются удвоенной сумме упругих отжатий в технологической системе.

В общем случае величина упругих отжатий ***y*** определяется действующими в направлении этих отжатий усилиями и жесткостью технологической системы. Под жесткостью ***j*** технологической системы понимается ее способность оказывать сопротивление действию деформирующих сил. Количественно жесткость технологической системы оценивается отношением нормальной составляющей P_y, кН (кгс), силы резания к суммарному смещению ***y,*** м (мкм), лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки, измеренному в направлении по нормали к этой поверхности, т. е.

$$j = \frac{P_y}{y}, \text{кН/м (кгс/мкм)}$$

В ряде случаев при нахождении жесткости технологической системы по значениям жесткости ее отдельных звеньев, а также при расчете погрешностей обработки, обусловленных упругими отжатиями отдельных элементов системы, удобно пользоваться понятием податливости, которая численно равна величине обратной жесткости.

Податливостью ***w*** технологической системы называется ее способность упруго деформироваться под действием внешних сил. Численно податливость ***w,*** м/кН (мкм/кгс) определяется отношением смещения ***y*** лезвия инструмента относительно заготовки, измеренного по нормали к обрабатываемой поверхности, к составляющей силы резания, действующей в том же направлении, т. е.

$$w = \frac{y}{P_y} = \frac{1}{j}.$$

В связи с тем, что сумма деформаций отдельных звеньев упругой системы, приведенных к точке и направлению, принятым при измерении жесткости, равна суммарной деформации системы $(y=y_1+y_2+\ldots+y_n)$, можно вычислить суммарную податливость системы ***w*** по формуле:

$$w = w_1 + w_2 + \ldots + w_n,$$

и суммарную жесткость системы ***j*** по формуле:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \ldots + \frac{1}{j_n}$$

Проведенными многочисленными исследованиями жесткости станков установлены фактические значения жесткости и податливости различных типоразмеров станков и их отдельных узлов, что позволяет производить все необходимые расчеты с высокой точностью.

Упругость системы СПИД особенно наглядно проявляется при круглом шлифовании, когда абразивный круг, установленный на определенную глубину резания, из-за упругой деформации системы срезает значительно меньший слой материала и требуется произвести несколько дополнительных проходов без изменения поперечной подачи, чтобы был удален слой материала,

установленный поперечной подачей для получения заданного размера обрабатываемой заготовки. На этом явлении основан так называемый метод выхаживания при тонком шлифовании прецизионных деталей.

1.5.5.2. Неточность и износ инструмента

Весь инструмент, применяемый при обработке материалов резанием, разделяется на две группы: мерный и немерный. К первой группе относятся сверла, развертки, зенкеры, протяжки, пазовые фрезы, профильный инструмент и т. д. Характерным для этих инструментов является то, что они предназначены для получения при обработке какого- то одного определенного размера. К немерным инструментам относятся резцы, фрезы, абразивные круги и т. д., которые применяются для получения в процессе обработки различных размеров.

Понятно, что неточность изготовления мерного режущего инструмента непосредственно переносится на размеры обрабатываемых заготовок, обусловливая появление погрешностей размеров и формы поверхностей. Это в полной мере относится и к мерному инструменту для обработки металлов давлением (выглаживающие прошивки и протяжки, профильные накатные ролики и плашки, раскатники). Однако следует подчеркнуть, что точность изготовления мерного режущего инструмента, как правило, достаточно высока, а поэтому неточность его изготовления весьма незначительно сказывается на погрешности обработки.

Большое влияние на неточность размеров оказывает износ инструмента. Износ мерного инструмента может приводить к “потере размера” и необходимости замены инструмента, если он не регулируемый, или к компенсации погрешности, если он может регулироваться на размер (регулируемые развертки, раскатники). При работе немерным режущим инструментом по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках принципиально важно учитывать закономерности его износа, который приводит к возникновению переменной систематической погрешности обработки. Для анализа этого вопроса обратимся к классической зависимости износа от пути трения при трении скольжения, представленной на рис. 1.64. Эта зависимость имеет три характерных участка: 1 - участок приработки; 2 - участок нормального износа; 3 - участок катастрофического износа. Участок 1 характеризуется интенсивным износом режущего лезвия инструмента. Величина начального износа $\boldsymbol{U_H}$ и длительность периода приработки зависят от материала инструмента, качества его заточки и условий резания. Продолжительность начального износа, выраженная длиной пути резания L_H, находится в пределах 500-2000 м (быстрая приработка характерна для тщательно доведенных резцов).

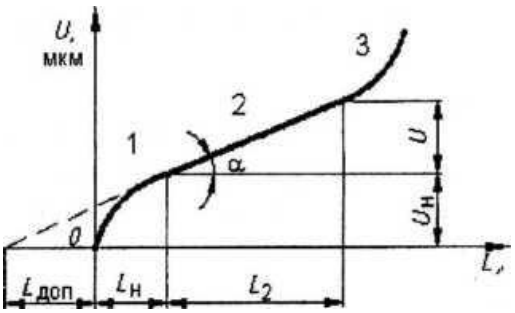


Рис. 1.64. Зависимость износа от пути трения скольжения.

Второй участок соответствует нормальному износу инструмента, на котором его величина пропорциональна пути резания на длине участка L_2. Интенсивность этого участка износа принято оценивать относительным (удельным) износом U_0 (мкм/км), определяемым по формуле:

$$U_0 = \frac{U}{L_2},$$

где U - размерный износ в микрометрах на пути резания L_2,L_2 - путь резания на участке нормального износа в километрах. Длина L_2 пути резания на участке нормального износа при обработке стали резцами с твердосплавными пластинами Т15К6 может достигать 50 км.

Третий участок соответствует наиболее интенсивному, катастрофическому износу, сопровождающемуся выкрашиванием и разрушением режущей кромки инструмента, и, соответственно, его заменой.

Для расчета износа режущего инструмента, влияющего на точность обработки, применительно к участку нормального износа пользуются формулой:

$$\mathrm{U} = \frac{\mathrm{U_0 L}}{1000},$$

где U - размерный износ режущего инструмента, мкм; L- длина пути резания, м; U_0–относительный (удельный) износ, определяет интенсивность износа на участке 2, мкм/км;

$$U_0 = \frac{U}{L_2}.$$

Длина пути резания при точении определяется по следующей зависимости:

$$L = \frac{\pi D l}{1000 \cdot S_0},$$

где D - диаметр обрабатываемой заготовки, мм; l - длина обработки, мм; So - продольная подача, мм/об.

Для торцевого фрезерования длину ***L*** пути резания приближенно можно определять по формулам:

$$L = \frac{lB}{1000 \cdot S_0}, \qquad L = \frac{lB}{1000 \cdot z \cdot S_z},$$

где ***l*** - длина хода, мм; ***B***-ширина фрезеруемой площадки, мм; ***So*** - подача фрезы, мм/об; ***z***— число зубьев фрезы; S_z - подача фрезы на зуб, мм/зуб.

При определении износа нового или вновь заточенного инструмента расчет по приведенным выше формулам дает заниженный результат в силу того, что не учитывается повышение интенсивности износа в период приработки инструмента на длине $L_н$ резания, увеличивающее суммарный износ на $U_н$. В этом случае, чтобы, не усложняя расчетов, учесть начальный износ инструмента на участке приработки $L_{доп}$, принято расчетную длину ***L***пути резания увеличивать на некоторую дополнительную величину $L_{доп}$. (рис. 1.68). Для этого случая формула для расчета износа режущего инструмента принимает вид:

$$U = \frac{U_0(L+L_{доп})}{1000}.$$

При этом для доведенных инструментов дополнительный путь резания $L_{доп}$= 500 м, для заточенных $L_{доп}$ = 1500 м, а в среднем $L_{доп}$=1000 м.

В общем случае относительный (удельный) износ U_0 режущего инструмента главным образом зависит от материала инструмента, качества его заточки и доводки, материала обрабатываемой заготовки, режимов резания и жесткости технологической системы СПИД. Поэтому погрешности размеров обработанных заготовок, обусловленные износом режущего инструмента, могут быть существенно снижены за счет рационального назначения материала и конструкции инструмента и соответствующих режимов резания.

1.5.5.3. Температурная деформация в системе СПИД

а) Тепловые деформации инструмента. В процессе механической обработки металлов выделяется значительное количество тепла, главным источником которого является работа пластической деформации обрабатываемого материала. При этом некоторая часть теплоты, выделяющаяся в зоне резания, переходит в режущий инструмент, вызывая его нагревание и изменение размеров. Применительно к токарной обработке наибольшая часть погрешности, обусловленной тепловыми деформациями технологической системы, связана именно с удлинением резцов при их нагревании.

Необходимо отметить, что влияние теплового удлинения резцов на точность обработки зависит от соотношения времени резания и продолжительности перерывов, когда оно отсутствует. Это положение

иллюстрируется зависимостями теплового удлинения резца Δl_p от времени обработки T (рис. 1.65) при различных соотношениях продолжительности резания и перерывов. Приведенные данные получены при точении легированной стали резцами, оснащенными твердосплавными пластинками Т15К6 с вылетом 40 мм и сечением 20х20 мм. Кривая 1 на рис. 1.65 соответствует охлаждению резца. Тепловое равновесие, при котором прекращается удлинение резца, наступает примерно через 20-24 мин. непрерывной работы (кривая 2).

При этом в первый период работы до наступления теплового равновесия удлинение резца приводит к изменению размеров обрабатываемых заготовок (при их небольших габаритах) или формы поверхностей (при больших размерах заготовок).

В процессе обработки заготовок с перерывами машинного времени $T_{маш.}$ в момент прекращения резания начинается охлаждение резца и происходит укорочение, которое продолжается до начала следующего цикла резания (кривая 3). При этом тепловые деформации резца, а соответственно, и погрешности обработки заметно уменьшаются по сравнению с непрерывным обтачиванием.

Существенное влияние на Δl_p оказывают режимы резания. Так, с повышением скорости резания, глубины резания и подачи интенсифицируется процесс нагревания, а, следовательно, увеличивается удлинение резца. При этом большое влияние на удлинение оказывает вылет резца. Например, с уменьшением вылета резца с 40 до 20 мм его удлинение сократилось с 28 до 18 мкм. Удлинение резца приблизительно обратно пропорционально площади поперечного сечения его стержня и прямо пропорционально твердости обрабатываемого материала. При работе без охлаждения удлинение резца может достигать 30-50 мкм, которое может быть снижено в 3-3,5 раза при создании обильного охлаждения зоны резания.

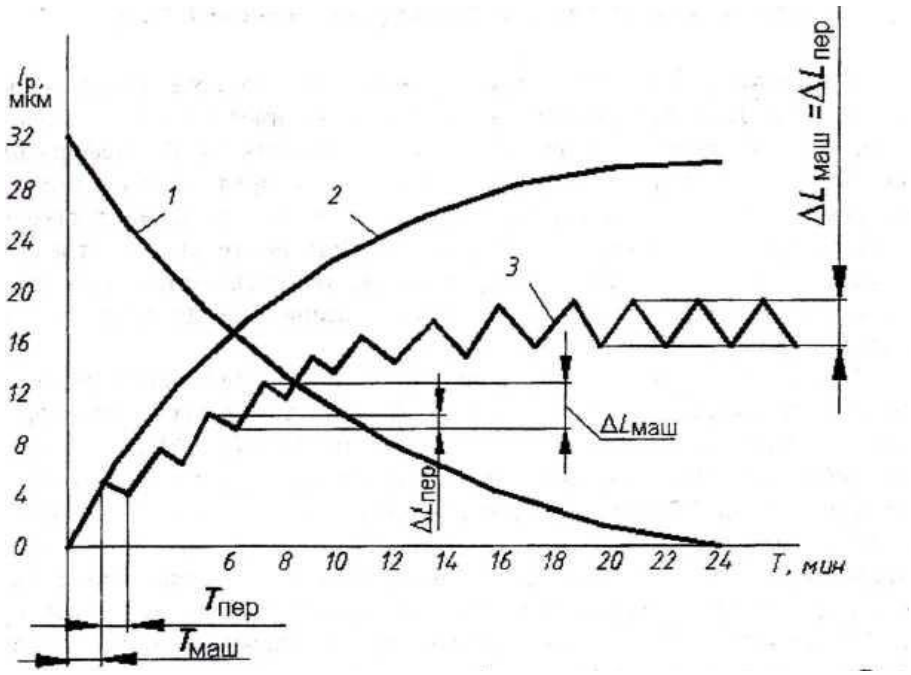


Рис. 1.65. Зависимость теплового удлинения резца Δl_p от времени обработки T.

В условиях теплового равновесия удлинение резца Δl_p (мкм) приближенно можно подсчитать по формуле:

$$\Delta l_p = C\frac{l_p}{F}\sigma_в(t \cdot S)^{0,75}\sqrt{V},$$

где C - постоянная; $l_р$- вылет резца, мм; F- площадь поперечного сечения резца, мм^2; $\sigma_в$- предел прочности обрабатываемого материала, кгс/мм^2; t - глубина резания, мм; S - подача, мм/мин; V- скорость резания, м/мин.

Общее удлинение резца $\Delta' l_p$ при ритмичной работе с перерывами машинного времени приближенно определяется по формуле:

$$\Delta' l_p = \Delta l_p \frac{T_{маш}}{T_{маш} + T_{пер}}.$$

Нагревание режущих инструментов при фрезеровании, нарезании зубьев и других операциях прерывистой механической обработки, выполняемых с охлаждением, оказывает заметно меньшее влияние на точность обработки, чем нагревание резцов.

б) Тепловые деформации заготовки. Некоторая часть теплоты, выделяющейся в зоне резания (при точении порядка 3-10%), переходит в обрабатываемую заготовку, вызывая изменения ее размеров и появление погрешностей обработки. Если происходит равномерное нагревание заготовки, то возникает погрешность размеров, а при местных нагревах отдельных участков заготовки может происходить коробление, вызывающее погрешность формы.

Нагревание обрабатываемых заготовок зависит от режимов резания. Так,

при токарной обработке с увеличением скорости резания и подачи, т. е. с уменьшением продолжительности теплового воздействия на заготовку, ее температура понижается, а с увеличением глубины резания она возрастает.

Ориентировочный расчет погрешности диаметрального размера детали Δd в результате ее нагрева на величину $\Delta t = t_1 - t_0$, где t_1 - температура нагретой детали; t_0 - температура помещения, может быть произведен по формуле:

$$\Delta d = d \Delta t \alpha,$$

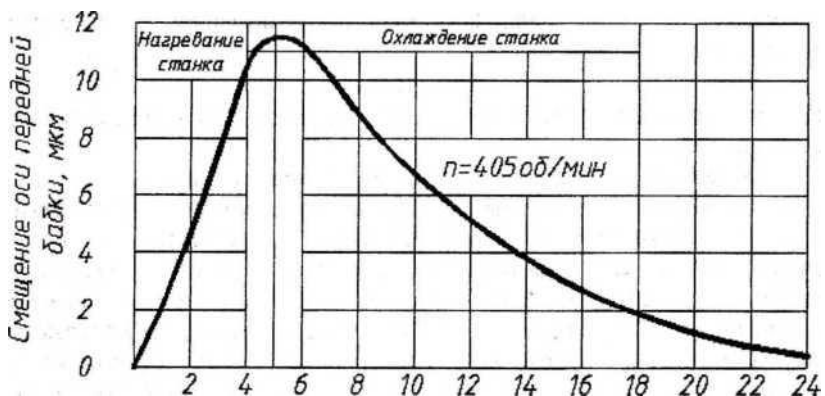
где d - диаметр детали; α - коэффициент линейного расширения материала детали.

Нагревание обрабатываемых заготовок имеет существенное значение при изготовлении тонкостенных, прецизионных деталей, когда изменения их размеров в результате нагрева становятся соизмеримы с величиной допуска. В этом случае необходимо принимать меры по уменьшению теплового воздействия. Это - применение обильного охлаждения, увеличение числа проходов с разбивкой припуска, тщательная заточка и доводка режущего инструмента. Влияние тепловых деформаций на точность возрастает при обработке внутренних поверхностей, когда отвод тепла из зоны резания затруднен. Все это необходимо учитывать при обработке таких деталей приборов, как тонкостенные втулки, гильзы, стаканы и т. п.

Влияние теплового фактора на погрешность размера, в первую очередь, сказывается при работе на предварительно настроенных станках, но оно может быть учтено рабочим при обработке по методу пробных ходов и промеров.

в) Тепловые деформации станков. В процессе непрерывной работы станка происходит постепенное нагревание его узлов. Источником тепла служат потери на трение в различных подвижных механизмах станка, гидроприводах и электроустройствах, во встроенных электродвигателях, а также теплопередача от охлаждающей жидкости, отводящей теплоту из зоны резца.

Доминирующее влияние на точность обработки оказывает нагревание шпиндельных бабок. При этом температура в различных зонах корпуса бабки изменяется от 10 до 50°С. Наибольшему нагреву подвергаются места расположения подшипниковых узлов шпинделя и подшипников быстроходных валов, температура которых на 30—40% выше средней температуры корпусных деталей.



При работе станка происходит постепенное нагревание шпиндельных

бабок, что вызывает их смещение в вертикальном и горизонтальном («на рабочего») направлениях. На рис. 1.66 показано горизонтальное смещение передней бабки токарного станка при работе в центрах. Отсюда видно, что в первый период работы станка после его запуска нагревание вызывает смещение «на рабочего», что приводит к непрерывному изменению размеров и формы обрабатываемых заготовок (при обработке крупных валов), т. е. появлению переменной систематической погрешности. Величина этой погрешности равняется удвоенному горизонтальному смещению оси передней бабки.

Рис. 1.66. Горизонтальное смещение оси передней бабки токарного станка от его нагрева при работе в центрах (А. П. Соколовский).

С увеличением частоты вращения шпинделя п смещение его оси возрастет приблизительно пропорционально √п. При обработке в патроне горизонтальное смещение оси шпинделя больше, чем при работе в центрах, и может достигать 17 мкм. Продолжительность нагревания передней бабки, сопровождающегося смещением оси шпинделя, составляет 3-5 часов, после чего температура нагрева и положение оси шпинделя стабилизируются. После остановки станка происходит его медленное охлаждение и обратное перемещение оси шпинделя.

С целью устранения погрешности обработки, обусловленной тепловыми деформациями станка, необходимо произвести предварительный прогрев станка на холостом ходу в течение 2-3 часов, а последующую обработку заготовок осуществлять без значительных перерывов в работе станка.

1.5.5.4. Ограниченная возможность срезания тонкого слоя материала

Минимальная толщина срезаемого слоя материала при обработке резанием любым режущим инструментом является ограниченной и определяется минимальной величиной радиуса округления $\boldsymbol{\rho_{min}}$ режущего лезвия, которая зависит от материала инструмента, а также от качества его заточки и доводки. В таблице 16 приведены данные о минимальной толщине срезаемого слоя металла инструментом из различных материалов.

При тщательной доводке режущего лезвия инструмента приведенные

величины значений p_{min} могут быть уменьшены в среднем на 30-40%.

Абразивные зерна отличаются от лезвийного инструмента значительно меньшими радиусами округления вершин, что и определяет возможность срезания абразивным инструментом весьма тонких слоев материала (меньше 1 мкм).

Табл. 16. Данные о минимальной толщине срезаемого слоя

Материал инструмента	p_{min}, мкм	Минимальный срезаемый слой, мкм
Алмаз	2-4	1-2
У10А	10-12	15-20
Р18	14-16	20-30
ВК8	18-20	30-40
Т15К6	22-24	35-45
УМ322	30-32	50-70
Абразивный инструмент	очень малы	< 1 мкм

Следовательно, чем меньше величина p_{min}, т. е. чем острее лезвие режущего инструмента и чем меньший слой материала может быть срезан за один проход, тем точнее может быть произведена обработка. Однако этот фактор имеет значение лишь при работе по методу пробных ходов и промеров. При работе на предварительно настроенных станках минимальная толщина слоя материала, удаленного за один проход, не влияет на точность размера, поскольку даже при съеме значительного по толщине слоя за счет тщательной настройки можно обеспечить высокую точность обработки.

Влияние величины минимально возможного съема материала на точность обработки методом пробных ходов и промеров поясним на следующем примере. Так, при изготовлении валика $ø20_{-0,014}$ мм после очередного прохода его диаметр оказывается равным 20,01 мм, т. е. превышение Δ относительно размера, заданного рабочим чертежом, мало. Если при следующем проходе использовать весь допуск IT на изготовление детали, то толщина срезаемого слоя t при следующем проходе должна быть либо меньше, либо равна $\frac{\Delta+IT}{2}$.Применительно к рассматриваемому случаю $t \leq \frac{0,01+0,014}{2} \leq 0,012$ мм. Такой припускможет быть снят лишь с помощью шлифования. Условие срезания минимального слоя материала t_{min} имеет вид:

$$t_{min} \geq \frac{b + IT}{2},$$

где b - величина припуска на обработку; IT - величина допуска.

1.5.5.5. Неточность механизма настройки на размер

У большинства металлообрабатывающих станков механизм установки

инструмента на требуемый размер состоит из ходового винта 5 (рис. 1.67) с лимбом 7 и ходовой гайкой 6, жестко связанной с перемещаемым узлом (суппорт токарного станка, шлифовальная бабка), с инструментом 3 или заготовкой. Погрешность этого механизма непосредственно сказывается на точности размера каждой заготовки при работе по методу пробных ходов и промеров, а также настройке станка при работе по методу автоматического получения размера.

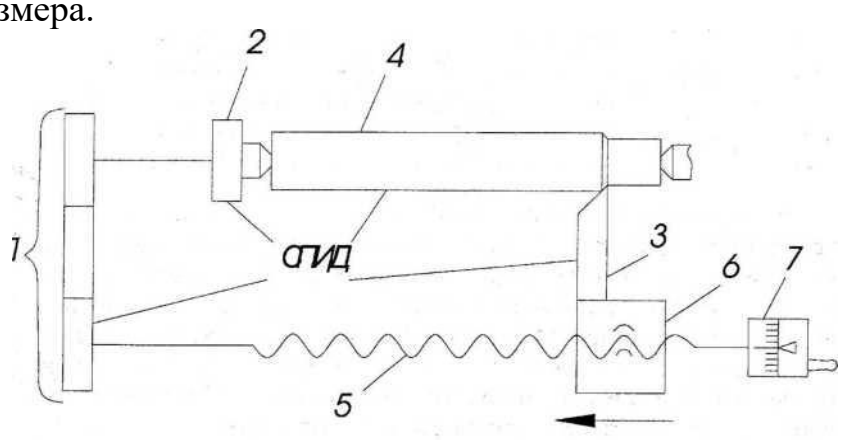


Рис.1.67. механизм установки инструмента на требуемый размер

Погрешность механизмов станков определяется как разность величин отсчетов по лимбу и фактических истинных перемещений инструмента относительно обрабатываемой заготовки и обусловлена его 1) кинематической и 2) динамической погрешностями.

1)Кинематическая точность определяется точностью ходового винта. Причем в случаях малых перемещений инструмента в пределах величины припуска, в особенности при чистовой обработке, угол поворота ходового винта незначителен, и соответственно мала погрешность (к примеру, при обработке на токарных и шлифовальных станках). В тех случаях, когда перемещение инструмента относительно заготовки при установке на размер сравнительно велика, и ходовой винт совершает несколько оборотов, даже при самом тщательном его изготовлении погрешность оказывается очень большой.

В таких случаях с целью повышения точности, например, в координатно-расточных станках, применяется специальное компенсирующее устройство с коррекционной линейкой, схема которого приведена на рис. 1.68. Автоматическая компенсация погрешности ходового винта 8, перемещающего стол, осуществляется следующим образом. На основе замера фактических значений шага данного ходового винта по всей его рабочей длине строится профиль коррекционной линейки 1, закрепленной на боковой стороне стола таким образом, что каждому витку винта соответствует определенный участок линейки. При перемещении стола ролик 2, упруго контактирующий с рабочей поверхностью линейки через систему рычагов 3 и 5 (рычаг 3 шарнирно закреплен на стойке 4, а рычаг 5 соединен штифтом 6 с неподвижной частью 7 лимба), доворачивает или наоборот, не доводит стол на величину, компенсирующую погрешность шага ходового винта.

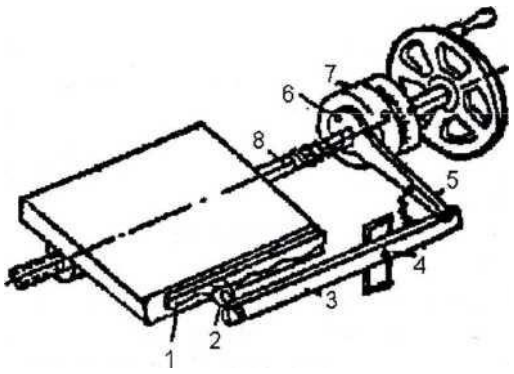


Рис. 1.68 Компенсирующее устройство с коррекционной линейкой.

2) Динамическая погрешность механизма установки на размер зависит от жесткости привода, потерь на трение во всех его узлах и массы перемещаемого узла. Поэтому с целью уменьшения этой погрешности необходимо повышать жесткость привода, уменьшать потери на трение и снижать вес перемещаемого узла.

Погрешность установки инструмента на размер из-за неточности механизма поперечной подачи достигает на шлифовальных станках 5 мкм, высокоточных токарных - 10 мкм и на токарных станках нормальной точности - 15-20 мкм, что, соответственно, вызывает погрешность диаметральных размеров деталей 10, 20 и 30-40 мкм.

1.5.5.6. Неточность настройки станка

При работе по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках точность первоначальной настройки на требуемый размер непосредственно определяет точность обработки так же, как и при поднастройке станка после переточки или смены инструмента.

Задача настройки и поднастройки станка заключается в том, чтобы выполняемые размеры всех деталей партии находились в пределах заданного допуска. Для ее решения применяются два основных метода настройки:

1) Она производится последовательным приближением к настроечному размеру на нескольких пробных деталях с контролем размеров универсальным измерительным инструментом или жесткими калибрами.

2) Инструмент устанавливают в требуемое, заранее рассчитанное положение по шаблону или установу в статическом (нерабочем) состоянии станка или вне его с использованием съемных суппортов, револьверных головок и других устройств.

1) При смене инструмента и поднастройке станка неизбежна погрешность, так как невозможно установить инструмент точно в одно и то же положение. Величину этой погрешности $\Delta_н$ определяют как разность между максимальным и минимальным настроечными размерами, которая зависит от квалификации наладчика и точности используемого измерительного средства.

Наличие погрешностей измерения при настройке по пробным заготовкам $\Delta_{изм}$ и погрешности регулировки положения инструмента $\Delta_{рег}$ также необходимо учитывать при оценке неточности настройки станка. Если принять,

что $\Delta_{изм}$ и $\Delta_{рег}$ обусловлены влиянием случайных факторов, то сложение величин этих погрешностей можно производить по правилу квадратного корня. Так для заготовок тел вращения по формуле:

$$\Delta Н = 2К\sqrt{\Delta^2_{изм} + \Delta^2_{рег}},$$

где $К$ = 1-1,2 — коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения погрешностей измерения и регулирования от нормального закона. При упрощенных расчетах точности величину $\Delta_{рег}$ можно принимать равной цене деления регулировочного устройства или предельной погрешности измерительного средства, с помощью которого регулируют положение инструмента.

Погрешность измерения $\Delta_{изм}$ пробных заготовок принимается равной предельной погрешности используемого измерительного средства.

Если принять во внимание, что определение величины необходимого смещения при поднастройке связано с погрешностью метода ее расчета, то общая погрешность настройки определится по формуле:

$$\Delta Н = 2К\sqrt{\Delta^2_{изм} + \Delta^2_{рег} + \Delta^2_{расч}}$$

где $\Delta_{расч}$ - погрешность метода расчета смещения инструмента.

Эта величина определяется погрешностью вычисления средней арифметической для пробных заготовок по следующей зависимости:

$$\Delta_{расч} = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{m}},$$

где σ- среднее квадратическое отклонение, характеризующее точность данного метода обработки; m - количество пробных заготовок (m = 5-10). Если σ неизвестно, то приближенно можно применять формулу:

$$\sigma = \frac{IT}{\sigma},$$

где IT- допуск на настраиваемый размер.

С достаточной для практических целей точностью можно принимать погрешность настройки равной 2σ или брать ее равной 0,1IT.

Несколько реже применяют настройку станка по пробным заготовкам с использованием рабочих калибров. Этот метод менее точен и требует обработки большого числа пробных заготовок.

2) Второй метод настройки инструмента с помощью шаблонов или установов в приборостроении применяется сравнительно редко, т. к. он относительно неточен (погрешность установки по щупу ориентировочно оценивается в пределах 15-45 мкм). Основное применение этот метод получил при настройке фрезерных и многорезцовых станков. Он обладает рядом достоинств: менее трудоемок, чем метод настройки по пробным заготовкам; не требует столь высокой квалификации наладчиков; настройка может производиться вне станка.

1.5.5.7. Погрешность установки заготовки на станке ε_y

Под ***установкой*** детали понимают процесс ее базирования и закрепления либо непосредственно на столе станка, либо в приспособлении.

Базирование — это придание заготовке или детали (изделию) требуемого положения относительно выбранной системы координат. Требуемое положение детали относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических связей через соприкосновение поверхностей самой детали с поверхностями других тел (стол станка, установочные элементы приспособления и т. п.) и приложения сил и пар сил для обеспечения контакта между ними. При наложении геометрических связей деталь лишается трех перемещений вдоль осей OX, OY, 0Z и трех поворотов вокруг этих осей, т. е. она становится неподвижной в системе координат OXYZ.

Лишая деталь всех шести степеней свободы, получают ***схему полного базирования***. В некоторых случаях (например, обработка на токарных станках) деталь лишают меньшего числа степеней свободы (четырех или пяти). Такая схема базирования является упрощенной.

Схема полного базирования строится в соответствии с ***правилом шести точек,*** которое формулируется следующим образом: *для полного базирования детали с лишением ее всех шести степеней свободы необходим комплект из трех базирующих поверхностей, несущих шесть опорных точек.*

Исключение составляет базирование длинных конических деталей, при котором для полного базирования необходим комплект из двух базирующих поверхностей.

Используемая для базирования поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая детали (заготовке, изделию), называется ***базой.***

Согласно ГОСТ 21495-76, базы можно классифицировать по нескольким признакам следующим образом.

1. *По назначению* базы делятся на:

а) ***конструкторские*** - для определения положения самой детали или сборочной единицы в изделии (основные), или определения положения присоединяемого к ним изделия (вспомогательные);

б) ***технологические*** - для определения положения детали (заготовки) или изделия при их изготовлении или ремонте;

в) ***измерительные*** - для определения относительного положения детали (заготовки) или изделия и средств измерения.

2. *По лишаемым степеням свободы* различают следующие базы:

а) ***установочную***, которая лишает объект трех степеней свободы - перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей;

б) ***направляющую***, которая лишает объект двух степеней свободы - перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси;

в) ***опорную***, которая лишает объект одной степени свободы - перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг оси;

г) ***двойную направляющую***, которая лишает объект четырех степеней свободы - перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих

же осей;

д) ***двойную опорную***, которая лишает объект двух степеней свободы - перемещения вдоль двух координатных осей.

3. *По характеру проявления* база может быть:

а) ***скрытой*** - в виде воображаемой плоскости, оси или точки;

б) ***явной*** - в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Конструктор, пользуясь конструкторскими базами, задает размеры и (или) положение отдельных простейших поверхностей на чертеже детали.

Технологу важно определить по чертежу основную конструкторскую базу, принадлежащую данной детали или сборочной единице, например, торец и отверстие зубчатого колеса, цапфы у осей и т. п., чтобы правильно построить технологический процесс обработки детали или сборки изделия.

В процессе изготовления на каждой из операций технологического процесса имеются обрабатываемые и необрабатываемые поверхности. Последние используются в качестве конструкторских и технологических баз.

Конструкторской базой обрабатываемой поверхности называется совокупность элементов заготовки, с которыми обрабатываемая поверхность или ее ось связана координирующими размерами или допусками взаимного расположения на чертеже (операционном эскизе) (рис. 1.69).

Если два размера детали связаны координирующими размерами или допусками взаимного расположения, то любой из них можно принимать за базу относительно другого (принцип обратимости конструкторских баз).

Обрабатывают деталь обычно на разных станках согласно операционным эскизам. На каждой операции (установке) деталь предварительно базируют на станке, затем закрепляют и производят обработку одной или нескольких поверхностей. Каждая обрабатываемая поверхность должна иметь свою технологическую базу.

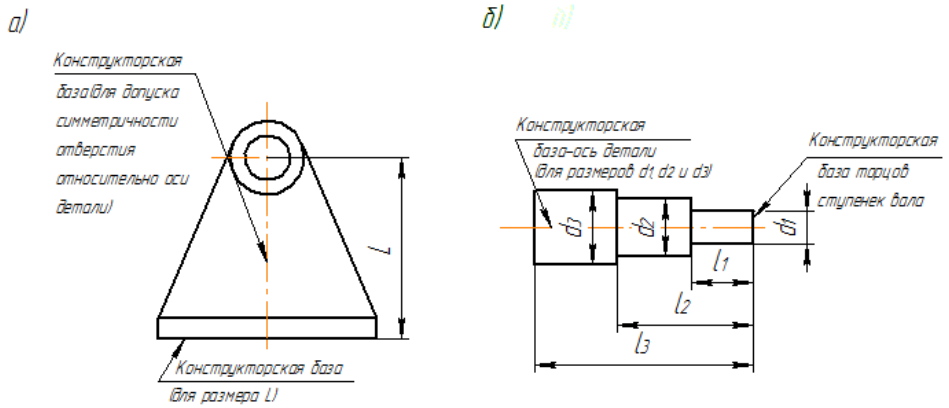


Рис. 1.69. Примеры определения положения конструкторских баз для обрабатываемого отверстия (а) и ступенчатого вала (б).

Технологической базой обрабатываемой поверхности называется совокупность элементов детали (заготовки), с помощью которых эту поверхность или ее ось правильно ориентируют на станке относительно

траектории режущего инструмента. В некоторых случаях, наоборот, инструмент ориентируют относительно технологической базы.

Технологическая база может быть ***опорной*** или ***проверочной***. Соответственно применяют ***два метода базирования***:

– ***по опорным технологическим базам***, под которыми понимается совокупность элементов детали (заготовки), которыми она непосредственно соприкасается с установочными элементами приспособления при базировании *по проверочным технологическим базам***,** под которыми понимается совокупность элементов заготовки, по которым производится выверка ее положения на станке при базировании. В качестве проверочной базы, кроме поверхностей, могут служить линии, оси и центры, наносимые разметкой, а иногда и сами обрабатываемые поверхности.

Выверка производится с помощью различных измерительных инструментов, при этом деталь приходится смещать, подклинивать и т. п. Базирование деталей с выверкой отнимает много времени и применяется обычно в единичном производстве.

Базирование по опорным технологическим базам не требует выверки и разметки, необходимая ориентация детали достигается сразу же, как только ее базовые поверхности войдут в контакт с установочными элементами (опорами) приспособления. Такое базирование выполняется значительно быстрее, не требует высококвалифицированного труда и применяется в массовом и серийном производстве.

При выборе технологических баз и построении схемы базирования необходимо в качестве этих баз использовать конструкторские базы соответствующих обрабатываемых поверхностей, т. к. при этом исключается погрешность базирования.

Обрабатываемые детали в любой стадии обработки и в готовом виде имеют отклонение от геометрически точной формы и номинальных размеров, заданных чертежом. Различают погрешности отдельных элементарных поверхностей в виде отклонения их размеров от номинала и искажений формы в продольном и поперечном сечении (например, диаметр вала и отклонение от круглости и профиля продольного сечения), погрешности во взаимном расположении элементарных поверхностей и их осей в виде отклонений от параллельности, перпендикулярности, соосности и т. д. (например, расстояние между торцевыми поверхностями ступенчатого вала и непараллельность их между собой, несоосность осей шеек этого вала относительно общей оси).

Погрешности установки, связанные с базированием и закреплением заготовки (детали), а также неточность изготовления и сборки приспособлений оказывают непосредственное влияние на отклонения координирующих

размеров и допуски взаимного расположения поверхностей и не влияют на отклонения размеров и формы элементарных поверхностей (исключение составляют случаи закрепления нежестких деталей).

Суммарная погрешность любого координирующего размера складывается из первичных погрешностей, которые можно разделить на четыре группы:

1) погрешности установки заготовки в приспособлении;

2) погрешности настройки станка;

3) погрешности обработки;

4) суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности, вызванная геометрическими неточностями станка и деформацией заготовки при ее закреплении.

Погрешность установки $\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{у}}$ возникает в процессе установки заготовок в приспособлении и складывается из погрешности базирования $\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{б}}$, закрепления $\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{з}}$и приспособления $\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{пр}}$:

$$\overrightarrow{\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{у}}} = \overrightarrow{\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{б}}} + \overrightarrow{\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{з}}} + \overrightarrow{\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{пр}}}$$

Каждая из этих составляющих погрешностей установки представляет собой величину поля рассеяния выполняемого на данной операции координирующего размера и является случайной величиной, распределение которой подчиняется закону Гаусса. Поэтому численное значение ее можно определить по формуле:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{у}} = \sqrt{\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{б}}^2 + \boldsymbol{\varepsilon}_{\text{з}}^2 + \boldsymbol{\varepsilon}_{\text{пр}}^2}$$

Погрешностью базирования называют отклонение фактического положения заготовки от требуемого. Погрешность базирования возникает при несовмещении конструкторской и технологической баз обрабатываемой (поверхности): положение конструкторских баз в партии заготовок будет различным относительно обрабатываемой поверхности.

Погрешность базирования численно равна:

–разности предельных расстояний между положением конструкторской базы в партии заготовок и установленным на размер режущим инструментом или упором, либо допуску на базисный размер (***базисный размер*** - это расстояние между конструкторской и технологической базой обрабатываемой поверхности либо их проекциями на направление выполняемого размера).

Для иллюстрации и анализа этого обратимся к схеме фрезерования уступа, приведенной на рис.1.74 На ней можно выделить:

1 - технологическая база обрабатываемой плоскости 6,1-6-*NN* поверхность детали и конструкторская база для размераl_1;

2 - технологическая база обрабатываемой плоскости 5, положение которой задано размерами $\boldsymbol{h_1}$ и $\boldsymbol{h_2}$, и конструкторская база для размера $\boldsymbol{h_2}$;

3-конструкторская база для размера ***h₁;***

4- конструкторская база для размера l_2.

В партии заготовок размеры колеблются от ***H_{min}*** до ***H_{max}*** (допуск = ***IT_H)*** и от ***L_{min}*** до ***L_{max}*** (допуск = ***IT_L).***

Инструмент (фреза) настраивается на плоскости 5 и 6.

Погрешности базирования для выполняемых на операции размеров будут равны:

$$\varepsilon_{бl_1} = \varepsilon_{бh_2} = 0$$

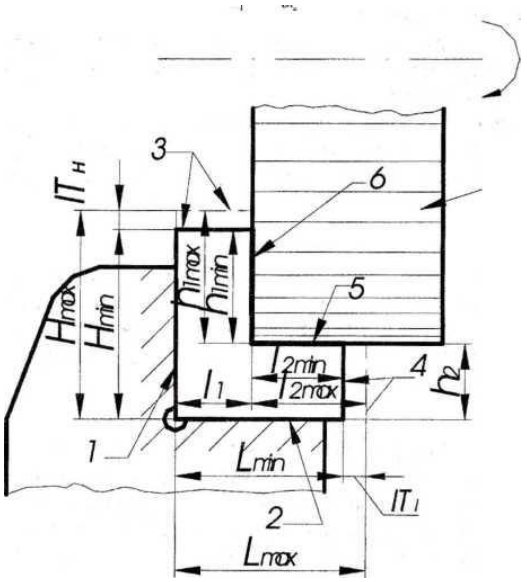


Рис. 1.70. Схема фрезерования уступа т. к. конструкторская и технологическая базы для l_1, и h2 совпадают (пл. 1 и пл. 2, соответственно).

$$\varepsilon_{бl_2} = l_{2\max} - l_{2\min} = L_{max} - L_{min} = IT_L,$$
$$\varepsilon_{бh_1} = h_{2\max} - h_{1\min} = H_{max} - H_{min} = IT_H,$$

где ***H и L -*** базисные размеры.

Для уменьшения погрешности базирования следует совмещать технологическую и конструкторскую базы, выбирать рациональные размеры и расположение установочных элементов приспособления,

уменьшать допуски на базисный размер, устранять или уменьшать зазоры при посадке заготовки на охватывающие установочные элементы.

Погрешность закрепления — это величина рассеяния координирующего

размера, которая возникает по причине смещения (осадки) конструкторской базы под действием сил зажима.

Для партии заготовок погрешность закрепления можно свести к нулю настройкой станка, если величина смещения постоянна. При этом поле допуска выполняемого размера не будет изменяться, а его положение можно скоординировать соответствующей настройкой станка.

Однако в связи с колебанием сил зажима (удельных давлений в зонах контакта заготовки с опорами) при переходе от одной детали к другой и неоднородностью качества опорной поверхности у деталей партии неизбежны колебания величины смещения (осадки) конструкторской базы.

Смещение этой базы происходит в результате деформации звеньев цепи, через которую передается сила закрепления (заготовка - установочные элементы - корпус приспособления). Из всего баланса перемещений в этой цепи наибольшую величину имеют перемещения в стыке "заготовка - установочные элементы приспособления". Контактные деформации в постоянных сопряжениях приспособления (корпусные элементы), деформации сжатия заготовки и деталей приспособления очень малы. Контактные деформации в стыках "заготовка - опоры приспособления" можно определить по формуле:

$$\boldsymbol{\Delta = c \cdot q^n},$$

где $\boldsymbol{q}$ - сила, приходящаяся на опору (n<1); $\boldsymbol{c}$ - коэффициент, который характеризует вид контакта, материал, шероховатость, прочностные свойства опорной поверхности заготовки.

Для типовых случаев установки заготовок (деталей) величину $\boldsymbol{c}$ и $\boldsymbol{n}$ находят экспериментально. При обработке партии заготовок сила $\boldsymbol{q}$ колеблется от $\boldsymbol{q_{min}}$ до $\boldsymbol{q_{max}}$, а коэффициент $\boldsymbol{c}$ - от $\boldsymbol{c_{min}}$ до $\boldsymbol{c_{шах}}$. Тогда величина

$$\Delta = \Delta_{max} - \Delta_{min} = c_{max} \cdot q_{max}^n - c_{min} \cdot q_{min}^n$$

будет характеризовать поле рассеяния перемещений заготовки в результате деформации ее опорной поверхности в месте контакта с опорами приспособления.

Величину погрешности закрепления можно уменьшить за счет стабилизации силы закрепления, применяя механизированные зажимы вместо ручных, а также за счет повышения жесткости стыка “установочные элементы приспособления - базовая поверхность заготовки”, улучшения качества базовых поверхностей (уменьшая шероховатость и повышая поверхностную твердость) и увеличения жесткости приспособления в направлении передачи силы зажима.

Погрешность положения заготовки, вызываемая ***неточностью приспособления***, является суммой трех составляющих:

1) погрешность изготовления и сборки установочных элементов приспособления $\boldsymbol{-\varepsilon_{ус}}$;

2) погрешность, вызванная износом этих установочных элементов-$\boldsymbol{\varepsilon_{и}}$,

3) погрешность установки приспособления на станке -$\boldsymbol{\varepsilon_{с}}$.

$$\overrightarrow{\varepsilon_{\text{пр}}} = \overrightarrow{\varepsilon_{\text{ус}}} + \overrightarrow{\varepsilon_{\text{и}}} + \overrightarrow{\varepsilon_{\text{с}}}$$

Составляющая характеризует неточность положения установочных элементов приспособления относительно друг друга и его базовых поверхностей, которыми приспособление контактирует со станком. При использовании одного приспособления это — систематическая постоянная погрешность, величину которой можно определить и частично или полностью устранить настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособлений-дублеров, приспособлений-спутников) эта величина является случайной и не компенсируется настройкой станка.

Технологические возможности изготовления приспособлений обеспечивают

в пределах 0...15 мкм (для прецизионных приспособлений 0...10 мкм).

Составляющая $\boldsymbol{\varepsilon_{\text{и}}}$ характеризует износ установочных элементов приспособления. Величина износа зависит от программы выпуска деталей, их конструкции и размеров, материала и массы детали, состояния ее базовых поверхностей, а также условий установки детали в приспособление и снятия ее. Износ установочных элементов ограничивают расчетной величиной износа и контролируют при плановой периодической проверке приспособлений. Если износ достигает предельно допустимой величины, то опоры заменяют.

Составляющая $\boldsymbol{\varepsilon_{\text{с}}}$ характеризует погрешность установки на станке, обусловленную смещением корпуса приспособления на столе, шпинделе или станине станка. В массовом производстве при использовании одного приспособления и неизменяемом закреплении его на станке погрешность $\boldsymbol{\varepsilon_{\text{с}}}$ доводится выверкой до определенного минимума и остается постоянной во времени. Она может быть компенсирована настройкой станка.

В серийном производстве периодически меняют приспособление, при этом $\boldsymbol{\varepsilon_{\text{с}}}$ становится некомпенсируемой случайной величиной. То же происходит на автоматических линиях при использовании приспособлений-спутников. На величину $\boldsymbol{\varepsilon_{\text{с}}}$ дополнительно влияет износ сопрягаемых поверхностей станка и приспособления при регулярной их смене.

Смещение приспособлений на станке уменьшают применением направляющих элементов (шпонки для пазов станка, центрирующие пояски, выточки, фиксаторы и т. п.), правильным выбором зазоров в сопряжениях, а также равномерной затяжкой крепежных деталей. В целом $\boldsymbol{\varepsilon_{\text{с}}}$ составляет 10...20 мкм.

Таким образом, на основе анализа причин, вызывающих погрешности размеров деталей приборов, можно наметить основные направления повышения точности и экономичности их обработки:

1) Расширение возможностей съема тонкого слоя обрабатываемого материала за счет создания новых инструментальных материалов, обеспечивающих заточку и доводку инструмента с радиусом округления режущего лезвия менее 10 мкм и совершенствования методов заточки и доводки режущего инструмента.

2) Уменьшение температурных деформаций за счет применения высокоэффективных смазочно-охлаждающих веществ, совершенствования систем их подачи в зону образования тепла, оптимизации технологического процесса в отношении выбора числа проходов и режимов резания на каждой операции, оптимизации углов заточки инструмента и эксплуатации оборудования (прогрев в начале смены, периодический тепловой отдых и т. п.).

3) Повышение точности механизма настройки на размер за счет тщательности выполнения стыков, повышения точности ходовых винтов, применения корректирующих устройств.

4) Повышение жесткости технологической системы СПИД за счет совершенствования конструкции станков, повышения качества их сборки, сокращения общего числа звеньев технологической системы, совершенствования конструкции инструмента и оснастки, правильного выбора формы и размера заготовок и припусков на обработку.

5) Повышение износостойкости инструмента за счет повышения его теплоемкости, сопротивления истирающему воздействию стружки и заготовки, оптимизации геометрии, повышения качества заточки и доводки.

6) Повышение точности настройки за счет совершенствования методики расчетов, повышения точности используемых методов измерения размеров и измерительной аппаратуры.

1.5.5.8. Причины, вызывающие погрешности формы и взаимного расположения поверхностей

К основным причинам, вызывающим погрешности формы и взаимного расположения поверхностей, относятся:

1) Деформации упругой системы СПИД.

2) Колебания и вибрации, действующие в системе СПИД.

3) Неточность станка и профильного инструмента.

4) Упругая деформация заготовки.

5) Действие внутренних напряжений.

1.5.5.9. Деформации упругой системы СПИД

Деформация упругой системы СПИД влияет не только на точность размеров, но и на точность формы обрабатываемых деталей. Это влияние, например, при обработке деталей - тел вращения, приводит к погрешностям геометрической формы как в поперечном (радиальном), так и в продольном (осевом) сечениях.

Погрешность формы в поперечном сечении. Причиной, вызывающей погрешность обрабатываемой детали в поперечном сечении (отклонение от круглости), чаще всего является радиальное биение заготовки вследствие неправильной ее зацентровки (при закреплении в центрах), биение шпинделя, эксцентрическое положение заготовки относительно оси шпинделя станка (при

закреплении ее в патроне или на планшайбе), а также погрешности геометрической формы исходной заготовки.

Рассмотрим случаи, когда причиной погрешности является неправильная зацентровка заготовки (рис. 1.71), т. е. ось центровых отверстий и ось вращения шпинделя смещены на величину эксцентриситета ***e.***

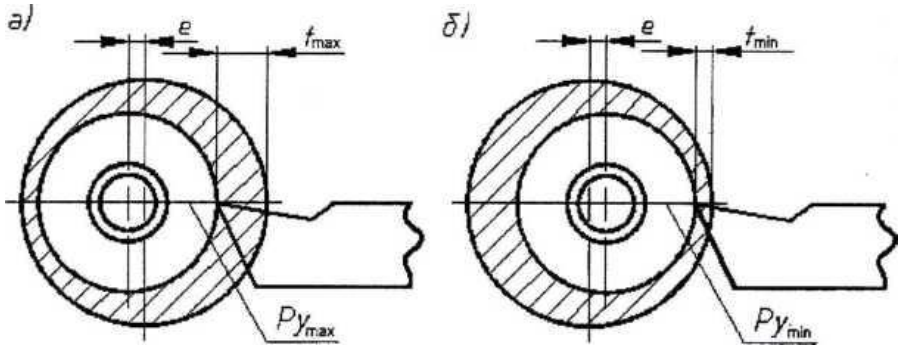


Рис.1.71. Погрешность формы из-за неправильной зацентровки.

В этом случае за один оборот заготовки глубина резания будет изменяться от t_{max} (рис. 1.71, а) до t_{min} (рис. 1.71,б). Разность этих величин будет определять погрешность заготовки в поперечном сечении $\Delta_{заг} = t_{max} - t_{min}$. Соответственно будет изменяться нормальная составляющая силы резания от $P_{y_{max}}$ до $P_{y_{min}}$ и величина упругих отжатий резца от заготовки в пределах от y_{max} до y_{min}.

Поскольку система СПИД нежесткая, то погрешности заготовки или ее установки на станке копируются на деталях с некоторым уточнением, определяемым коэффициентом уточнения β:

$$\beta = f(y)\frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дет}}.$$

При обработке детали за несколько проходов общий коэффициент уточнения β равен произведению коэффициентов уточнения за каждый проход:

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \ldots \cdot \beta_n,$$

где $\beta_1, \beta_2, \ldots \beta_n$- соответственно коэффициенты уточнения при первом, втором и последнем проходах.

Так, например, если при обработке в центрах погрешность зацентровки $\Delta_{заг}$ = 1мм, а обработка осуществляется в два прохода с равными значениями коэффициентов уточнения β_1=β_2 =10($\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$=100), то погрешность детали в поперечном сечении будет равна

$$\Delta_{дет} = \frac{\Delta_{заг}}{\beta} = \frac{1}{100} = 0{,}01 \text{ мм}.$$

Погрешности геометрической формы исходной заготовки (рис.1.76) обусловливают появление одноименных погрешностей формы обработанных заготовок. Погрешность исходной заготовки $\Delta_{заг}$ определяет приращение

глубины резания на отдельных участках обрабатываемой поверхности, а следовательно, и приращение $\Delta \boldsymbol{P}_y$ нормальной составляющей силы резания, и дополнительное отжатие $\Delta_y = \frac{\boldsymbol{P}_y}{\boldsymbol{\gamma}}$ технологической системы в сечении наибольшего диаметра $\boldsymbol{D}_{\text{исх.заг.}}$ исходной заготовки, которое вызывает соответствующее увеличение диаметра $\boldsymbol{D}_{\text{обр.заг.}}$ обработанной заготовки. Тогда погрешность формы обработанной заготовки определится:

$$\Delta_{\text{обр.заг.}} = D^{max}_{\text{обр.заг.}} - D^{min}_{\text{обр.заг.}} = 2\Delta_y.$$

Следовательно, погрешность исходной заготовки копируется (переносится) на обработанную заготовку (деталь) в виде одноименной погрешности, но уменьшенной в соответствии с коэффициентом уточнения $\boldsymbol{p}$. То есть овальности исходной заготовки соответствует овальность обработанной заготовки, конусообразности — конусообразность, биению - биение и т. д.

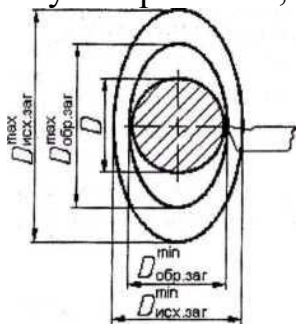


Рис.1.72. Погрешности геометрической формы исходной заготовки

В общем случае погрешность детали в поперечном сечении будет тем меньше, чем точнее обработана заготовка, чем жестче технологическая система СПИД и чем больше число проходов.

Погрешность формы в продольном сечении. В связи с тем, что жесткость системы СПИД непостоянна и изменяется по длине прохода (жесткость больше у мест закрепления заготовки), возникает погрешность формы детали в продольном сечении (конусообразность, бочкообразность, седлообразность). В зависимости от способа закрепления заготовки (консольное или в центрах) упругая деформация будет по-разному влиять на формирование погрешности в продольном сечении.

Рассмотрим случай консольного закрепления заготовки 1 в патроне 2 при ее продольном обтачивании с подачей $\boldsymbol{S_{пр}}$ (рис. 1.72). Возьмем два сечения: одно у свободного конца заготовки - 1—1, а второе - у места ее закрепления в патроне 2 - 2. Тогда, вследствие различной жесткости $\boldsymbol{j_2}$ у места закрепления заготовки в сечении 2 - 2 и у ее свободного конца $\boldsymbol{j_1}$ в сечении 1—1, величина прогиба в этих сечениях, соответственно $\boldsymbol{y_1}$ и $\boldsymbol{y_2}$ будет различной:

$$y_1 = \frac{P_y \cdot l_1^3}{3E \cdot J}, \qquad y_2 = \frac{P_y \cdot l_2^3}{3E \cdot J},$$

где P_y- нормальная составляющая силы резания; E- модуль упругости обрабатываемого материала; J — момент инерции поперечного сечения заготовки.

Жесткость обрабатываемой заготовки в сечении 1—1 равна:

$$j_1 = \frac{P_y}{y_1} = \frac{3E \cdot J}{l_1^3},$$

в сечении 2 - 2:

$$j_2 = \frac{P_y}{y_2} = \frac{3E \cdot J}{l_1^3}.$$

Поскольку $l_2 < l_1$, то $j_2 > j_1$, а, следовательно, $y_2 > y_1$. Жесткость обрабатываемого валика в сечении 2 - 2 приближенно можно принять абсолютной, тогда $y_2 \approx 0$. Таким образом, при консольном закреплении заготовки в результате неравномерной жесткости системы СПИД по длине прохода неизбежно возникновение погрешности формы детали в продольном сечении в виде конусообразности (рис.1.73). Соответственно будут различными диаметральные размеры обработанной детали по ее длине.

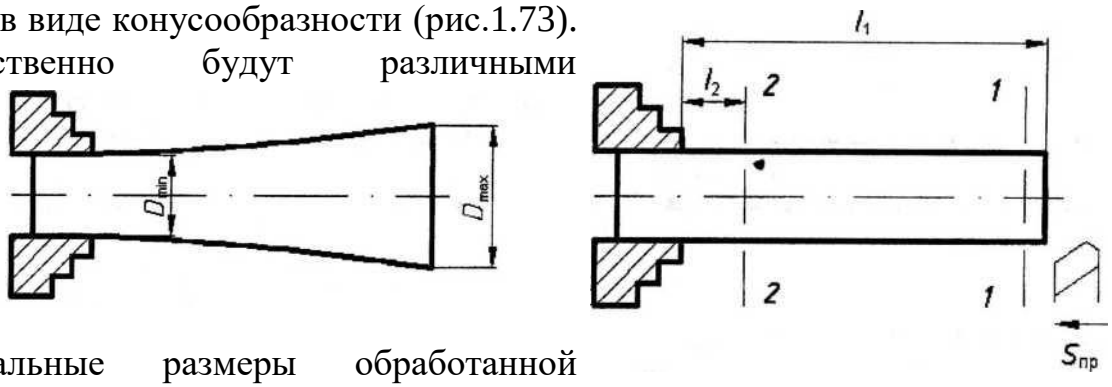


Рис. 1.73. Консольное закрепление заготовки в патроне

При закреплении заготовок в центрах вид возникающей погрешности формы в продольном сечении будет зависеть от соотношения жесткости станка и жесткости заготовки.

Проанализируем случай, когда жесткость станка значительно выше жесткости заготовки ($\gamma_{заг} \ll \gamma_{ст}$). На обрабатываемой заготовке *1,* установленной в центрах, при ее продольном обтачивании выделим три сечения (рис.1.73). Сечения 1 - 1 и 3 - 3 располагаются у мест закрепления заготовки в центрах, а сечение 2 - 2 - в средней ее части. В процессе продольного

обтачивания прогиб заготовки в этих сечения будет различным. В сечении 1—1 систему СПИД можно принять абсолютно жесткой, и тогда ее прогиб будет определяться:

$$y_1 = y_{заг} + y_{ст} = 0$$

Аналогичным образом можно записать для сечения 3 - 3:

$$y_3 = y_{заг} + y_{ст} = 0$$

В сечении 2 - 2 система СПИД наименее жесткая, и величина прогиба заготовки определится:

$$y_2 = y_{заг} + y_{ст} = \frac{P_y l^3}{48EJ}$$

Таким образом, $\mathbf{y_2 \gg y_1}$ **и** $\mathbf{y_3}$**,** и обработанная деталь примет бочкообразную форму.

Обратимся к случаю, когда при обработке в центрах жесткость заготовки выше, чем жесткость станка ($\boldsymbol{j_{заг} \gg j_{ст}}$). По аналогии с предыдущим случаем выделим на заготовке три сечения, как показано на рис. 2.13. Тогда в сечении 1 - 1:

$$y_1 = y_{заг} + y_{ст},$$

в сечении 2-2:

$$y_2 = y_{заг} + y_{ст} = \frac{y_{ст}}{2},$$

в сечении 3-3:

$$y_2 = y_{заг} + y_{ст} = y_{ст}.$$

Таким образом, $y_2 \ll y_1$ и уз , и деталь примет в продольном сечении седлообразную форму.

1.5.5.10. Колебания и вибрации, действующие в системе СПИД

Колебания и вибрации технологической системы СПИД, возникающие в процессе обработки заготовок, оказывают существенное влияние на точность обработки и стойкость режущего инструмента. При появлении колебаний режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности его стойкость снижается пропорционально квадрату амплитуды его колебаний, и на заготовке возникают погрешности формы поперечного сечения (огранка, овальность), образуется волнистость и увеличивается шероховатость обработанной поверхности.

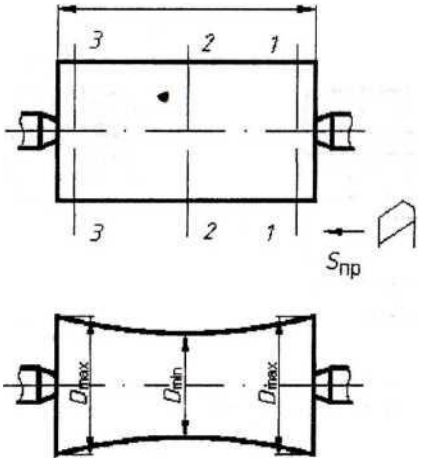


Рис. 1.74. Закрепление жесткой заготовки в центрах

1.5.5.11. Понятие о замкнутой динамической системе и ее устойчивости.

В процессе обработки в состав элементов технологической системы СПИД включаются и участвующие в общем действии рабочие процессы: резание и трение, а также процессы, протекающие в приводах, образуя в совокупности замкнутую динамическую систему. Ее замкнутость обусловливается взаимодействием упругой технологической системы с протекающими в процессе обработки рабочими процессами. Например, изменение силы резания вызывает упругие перемещения инструмента относительно заготовки, что, в свою очередь, приводит к изменению толщины среза и Одним из важнейших показателей качества динамической системы является ее устойчивость. В общем случае устойчивой считается система, у которой отклонение от данного состояния (равновесия или движения по заданному закону) в переходном процессе, вызванном ограниченным по величине воздействием, со временем не возрастает (в реальной системе - уменьшается). Если это отклонение возрастает, то система считается неустойчивой.

При периодической неустойчивости в системе устанавливаются колебания с некоторой амплитудой, которые получили название автоколебаний (при резании и трении автоколебания называют вибрациями). При апериодической неустойчивости происходит "подрывание" инструментов. При таком виде неустойчивости возникает нарастающее по времени за счет деформации в одном направлении отклонение инструмента или заготовки. В результате инструмент все глубже врезается в металл, усилие резания нарастает, и в конце концов происходит поломка инструмента или заготовки.

На практике неустойчивость динамической системы чаще всего проявляется при обработке заготовок, вращающихся с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы. В частности, при обработке тонкостенных заготовок, при использовании длинного и тонкого центрового инструмента (сверла, зенкеры, расточные оправки) в условиях продольного изгиба. Поэтому обработку важно осуществлять в области устойчивости динамической системы.

Под областью устойчивости динамической системы понимается совокупность значений параметров (режимов резания, геометрии и конструкции инструментов и технологической оснастки), при которых система заданной структуры является устойчивой. Эта область графически может быть определена в пространстве с координатной системой, по осям которой откладываются соответствующие параметры. На рис. 1.79 показана область устойчивости при растачивании отверстия в параметрах: глубина резания ***t*** и вылет ***l*** расточной оправки. Зона работы с параметрами ***t*** или ***l*** ниже разграничительной кривей определяет область устойчивости системы, в пределах которой обработка протекает без появления вибраций.

В общем случае замкнутая динамическая система является много-контурной (рис. 1.75, а), в которой рабочие процессы взаимосвязаны друг с другом через упругую систему. Причем упругая система со своей стороны оказывает заметное влияние на протекание рабочих процессов. Для конкретных условий анализа бывает целесообразно ограничиться изучением наиболее важных для данного случая связей, приближенно рассматривая многоконтурную динамическую систему как эквивалентную одноконтурную замкнутую систему. Поэтому при решении целевых технологических задач, при анализе или расчете режимов резания и точности обработки удобно использовать систему, состоящую из эквивалентной упругой системы, которая, с одной стороны, включает в себя упругую технологическую систему, процессы трения и привод, а с другой, - процессы резания (рис. 1.75, б).

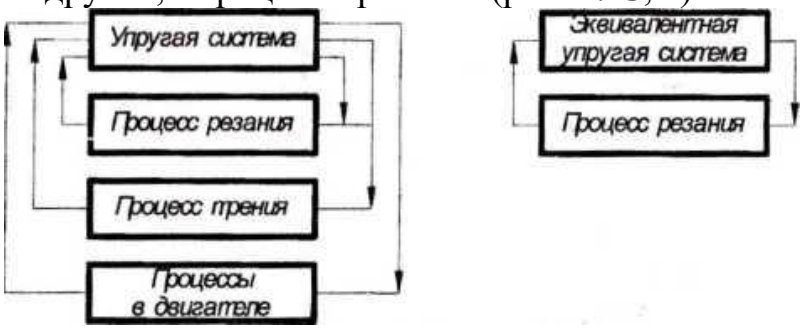


Рис. 1.75. а) Многоконтурная замкнутая динамическая система;
б) Эквивалентная упругая система.

Одним из важнейших показателей качества динамической системы является ее устойчивость. В общем случае устойчивой считается система, у которой отклонение от данного состояния (равновесия или движения по заданному закону) в переходном процессе, вызванном ограниченным по величине воздействием, со временем не возрастает (в реальной системе - уменьшается). Если это отклонение возрастает, то система считается неустойчивой.

При периодической неустойчивости в системе устанавливаются колебания с некоторой амплитудой, которые получили название автоколебаний (при резании и трении автоколебания называют вибрациями). При апериодической неустойчивости происходит "подрывание" инструментов. При таком виде неустойчивости возникает нарастающее по времени за счет

деформации в одном направлении отклонение инструмента или заготовки. В результате инструмент все глубже врезается в металл, усилие резания нарастает, и в конце концов происходит поломка инструмента или заготовки.

На практике неустойчивость динамической системы чаще всего проявляется при обработке заготовок, вращающихся с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы. В частности, при обработке тонкостенных заготовок, при использовании длинного и тонкого центрового инструмента (сверла, зенкеры, расточные оправки) в условиях продольного изгиба. Поэтому обработку важно осуществлять в области устойчивости динамической системы.

Под областью устойчивости динамической системы понимается совокупность значений параметров (режимов резания, геометрии и конструкции инструментов и технологической оснастки), при которых система заданной структуры является устойчивой. Эта область графически может быть определена в пространстве с координатной системой, по осям которой откладываются соответствующие параметры. На рис. 1.76 показана область устойчивости при растачивании отверстия в параметрах: глубина резания ***t*** и вылет ***l*** расточной оправки. Зона работы с параметрами ***t*** или ***l*** ниже разграничительной кривей определяет область устойчивости системы, в пределах которой обработка протекает без появления вибраций.

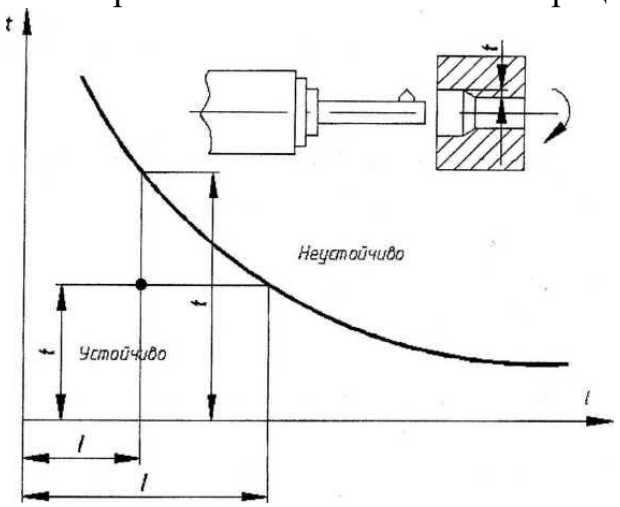


Рис. 1.76. Область устойчивости при растачивании.

Важным показателем качества динамической системы является степень ее устойчивости. Под степенью устойчивости динамической системы понимается ее способность рассеивать энергию, вносимую внешним воздействием. Она может быть оценена по быстроте затухания отклонений в переходных процессах. Чем больше степень устойчивости на данной частотной составляющей, тем быстрее затухает переходный процесс, тем меньше отклонения в установившихся динамических процессах (к примеру, амплитуда колебаний). На рис. 1.77 показаны затухающие колебания устойчивой системы по нормали к поверхности резания, связанные с переходным процессом при врезании резца. Продолжительность затухания колебаний характеризует степень устойчивости данной системы.

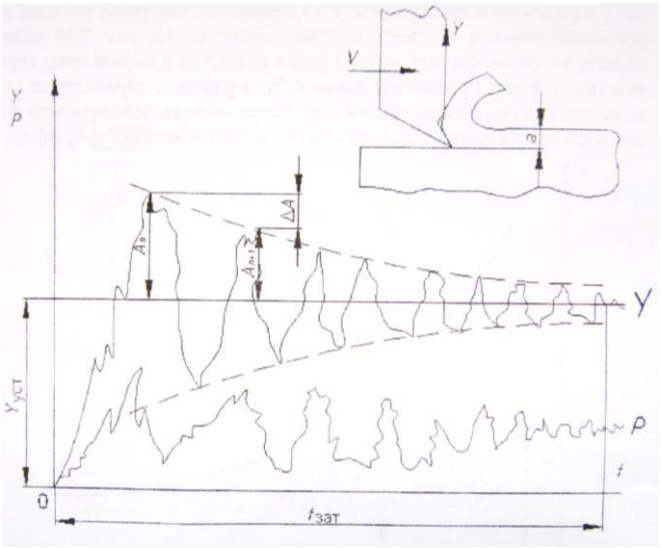


Рис. 1.77. Затухающие колебания устойчивой системы, вызванные вращением резца

Колебания и вибрации динамической системы. Изменения величины силы резания, возникающие в процессе обработки, внешние толчки, дисбаланс вращающихся частей станка и другие причины вызывают появление вынужденных колебаний элементов динамической системы, что сопровождается возникновением относительных перемещений режущих инструментов по нормали к обрабатываемой поверхности, которые обуславливают появление погрешностей формы и волнистость обрабатываемых поверхностей.

Собственные (или свободные) колебания элементов упругой систе-мы, вызываемые внешними воздействиями, в реальных системах являются затухающими колебаниями. В системах с малой диссипацией (рассеянием энергии) ее влияние на частоту свободных колебаний незначительно, и им можно пренебречь, рассматривая свободные колебания как гармонические, характеризующиеся частотой f (т. е. числом колебаний в одну секунду) или круговой частотой w, периодом колебаний T (временем, за которое совершается одно полное колебание) и амплитудой A колебания (т. е. максимальным отклонением массы от среднего положения). Для систем с одной степенью свободы частота f (Гц) определяется по формуле:

$$f = 1/T = \omega/2\pi$$

Важнейшей динамической характеристикой системы является собственная частота ее колебаний. При этом собственная круговая частота (круговая частота свободных колебаний) определяется выражением:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{j}{m}},$$

и для линейных систем не зависит от амплитуды колебаний, а полностью определяется характеристиками самой колеблющейся системы (жесткостью j и массой т).

Круговая частота вынужденных колебаний ω в равна или кратна частоте возмущающей силы (частоте вынужденного воздействия), которая может быть подсчитана заранее. При этом интенсивность вынужденных колебаний выражается величиной собственных колебаний (величиной их амплитуды Ав), зависит от соотношения частот собственных и вынужденных колебаний. В случае, когда частота вынужденных колебаний становится равной частоте собственных колебаний ω_в и ω_в/ω_с=1 наступает резонанс, при котором амплитуда вынужденных колебаний Ав особенно велика. В реальных системах наибольшее значение вынужденных колебаний близко, но несколько меньше частоты собственных колебаний системы.

Для нормального протекания процесса механической обработки в системах с одной степенью свободы необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$0{,}7 > \omega\_в/\omega\_с > 1{,}3$$

На практике, чтобы вывести систему из состояния, близкого к резонансу, и для выполнения приведенного условия часто бывает достаточно изменить частоту вращения обрабатываемой заготовки или инструмента.

В процессе обработки материалов резанием и при трении подвижных соединений большое значение имеет возникновение автоколебаний, не связанных с воздействием внешних периодических сил.

В общем случае автоколебания — это незатухающие колебания неконсервативной системы, установившаяся амплитуда и частота которых определяются свойствами самой системы. Неконсервативной называется система, в которой при колебаниях происходит рассеяние энергии, обусловленное упругим несовершенством материалов элементов или трением в соединениях, т. е. так называемым конструкционным демпфированием. Автоколебания являются устойчивыми колебаниями с частотой, определяемой свойствами колебательной системы, близкой к одной из частот собственных колебаний упругой технологической системы. Автоколебания системы начинаются одновременно с началом процесса резания и прекращаются после отвода инструмента. Это свидетельствует о том, что причиной возникновения автоколебаний является сам процесс резания. Таким образом, при автоколебательном процессе переменная сила, поддерживающая колебательное движение, создается и управляется самим движением и при его прекращении исчезает.

Первоначальное зарождение колебаний в реальных динамических системах связано с наличием у них большого числа степеней свободы и переменной жесткости элементов систем в различных направлениях осей координат. Так, при точении в процессе возникновения колебаний центр обрабатываемого вала и вершина резца совершают движения по кривым, близким к эллипсам (рис. 1.78). При этом их наибольшие оси развернуты друг относительно друга в соответствии с различием направлений главных осей жесткости передней и задней бабок и суппорта токарного станка.

На рис. 1.78 совпадающие по времени положения вершин резца и центра

обрабатываемого вала, а также соответствующие им значения мгновенных сил резания обозначены одинаковыми номерами.

Отсюда видно, что при последовательном движении вала и вершины резца от точек 1 до точек 5 расстояние между ними увеличивается, что вызывает уменьшение истинной толщины среза и, соответственно, уменьшение мгновенной силы резания, изменение которой показано пунктирной линией на рис. 1.78. При положениях вала и вершины резца в точках 5 силы резания становятся меньше сил упругости, а это приводит к тому, что вал и резец начинают сближаться, проходя через точки 6-8, в результате чего толщина среза увеличивается, а силы резания, соответственно, вновь возрастают. В дальнейшем такой цикл повторяется, т. е. возникают автоколебания в динамической системе. Периодические приращения сил резания можно рассматривать как периодические внутренние силы, которые могут поддерживать и усиливать колебательное движение.

В случае, когда скорость резания превышает амплитуду колебательной скорости, что имеет место при низкочастотных вибрациях, возникающих в динамических системах при обработке резанием, движение вершины резца описывается уравнениями:

$$y = A_y \sin \omega t, \;\; z = A_z \sin(\omega t - \varphi),$$

где A_y и A_z- амплитуды колебательных смещений вершины резца по соответствующим осям координат; ω- круговая частота колебаний; φ- сдвиг по фазе колебаний по разным осям.

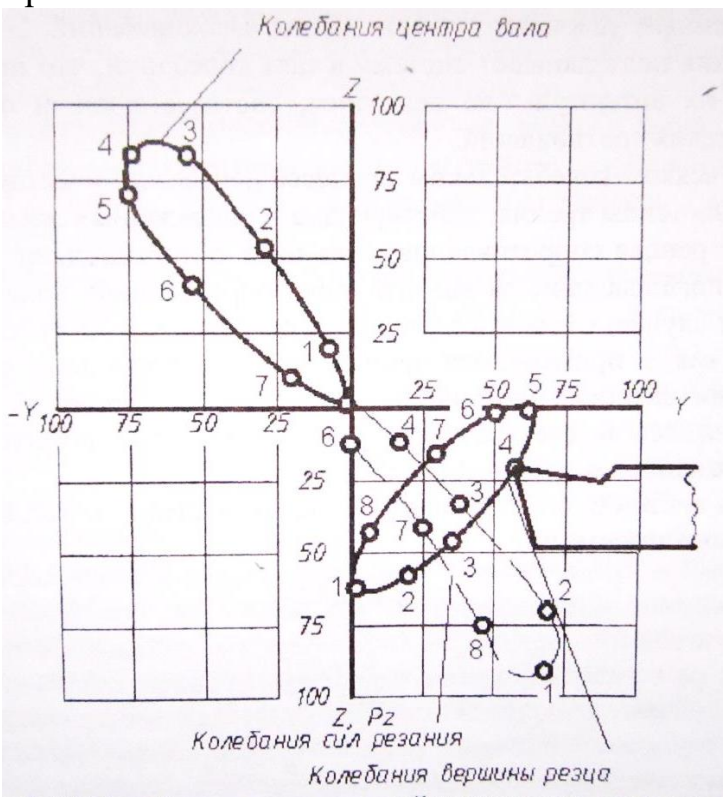


Рис. 1.78. Колебания динамической системы при точении

В общем случае траектория движения вершины резца приближается к эллипсу, однако, при разных значениях сдвига фаз она может иметь различный

вид. На рис. 1.79 показано изменение траектории движения вершины резца при различном сдвиге фаз ω.

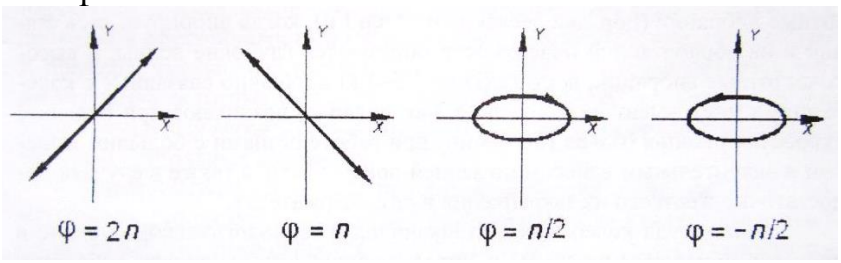


Рис. 1.79. Изменение траектории движения вершины резца при различном сдвиге фаз φ.

При движении резца по направлению действия силы резания она оказывается больше, чем при его движении в обратном направлении. Именно неоднородность изменения силы резания по перемещению является непременным условием существования автоколебаний. Эти изменения силы резания подталкивают систему в такт колебаний, что приводит к нарастанию их амплитуды до величины, соответствующей ограничениям энергетических соотношений.

Во всяком колебательном процессе неизбежно участвуют силы сопротивления (силы трения, действующие в сопряжениях элементов системы, и внутреннее сопротивление, связанное с диссипацией (рассеянием) энергии), поглощающие за каждый цикл определенное количество энергии. В том случае, когда эти затраты энергии не восполняются, колебания затухают, как, к примеру, это происходит с собственными колебаниями, вызванными внешним источником. Что касается автоколебаний, то они поддерживаются за счет разности работы резания, совершаемой резцом при его врезании и отталкивании.

Для систем с одной степенью свободы частота автоколебаний определяется зависимостями:

$$\omega = \sqrt{\frac{j+r}{m}} (2.12) f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{j+r}{m}}$$

где $j = 0{,}75 C_{py} \frac{B}{S^{0,25}}$

Из приведенных формул следует, что частота колебаний f возрастает с увеличением ширины среза B и жесткости технологической системы j и уменьшается с повышением массы m и толщины среза S, а также зависит от геометрии инструмента и свойств обрабатываемого материала, учитываемых коэффициентом, C_{py}.

В процессах обработки материалов резанием различают низкочастотные вибрации (порядка десятков и сотен Гц), когда вибрирует весь станок и на обработанной поверхности образуются глубокие волны, и высокочастотные вибрации, достигающие 1,5-4 кГц, обычно связанные с колебаниями инструментов. Последние, как правило, возникают при больших скоростях резания (более 150 м/мин) при работе резцами с большим вылетом и

значительным износом по задней поверхности, а также в случаях недостаточно жесткого их закрепления в резцедержателях.

Амплитуда колебаний, возникающих в технологической системе в процессе обработки резанием и определяющих интенсивность вибраций, устанавливается в зависимости от динамической характеристики системы, свойств обрабатываемого материала и условий резания.

Увеличение ширины среза B, что при продольном обтачивании и растачивании равноценно увеличению глубины резания t, увеличивает амплитуду колебаний. Повышение толщины среза, что при продольном обтачивании равноценно увеличению подачи S мм/мин, приводит к снижению амплитуды колебаний. По этой причине при снятии толстых стружек процесс резания протекает спокойнее, чем при снятии тонких.

В зоне сравнительно низких скоростей резания с увеличением ее до некоторого значения, зависящего от характеристики системы и от ширины среза, амплитуда колебаний интенсивно нарастает, а при дальнейшем повышении скорости снижается. Увеличение частоты f и повышение жесткости j приводят к снижению амплитуды колебаний.

Существенное влияние на амплитуду колебаний оказывают геометрия режущего инструмента и свойства обрабатываемого материала. Так, с уменьшением углов в плане w и w_1 и при увеличении радиуса r закругления вершины резца, вызывающих увеличение ширины резца B и рост нормальной составляющей усилия резания P_y, происходит увеличение амплитуды колебаний. При обработке чугуна, обладающего высокой демпфирующей способностью, амплитуда колебаний при прочих равных условиях меньше, чем при обработке стали.

Методы борьбы с вибрациями. При проектировании технологической оснастки важной задачей является полное устранение опасности возникновения колебаний или сведение их к допустимому минимальному уровню за счет повышения устойчивости динамической системы. Наиболее эффективным средством является увеличение жесткости всех элементов упругой системы. Это достигается повышением жесткости и точности металлорежущего станка и его элементов, а также жесткости приспособлений и закрепления в них обрабатываемых заготовок и, наконец, повышением жесткости конструкции режущего инструмента и его крепления на станке.

Необходимо заметить, что при изменении жесткости в широких пределах возможны ситуации, когда увеличение жесткости, повышая устойчивость динамической системы к низкочастотному спектру вибраций, приводит к неустойчивости по отношению к высокочастотным вибрациям. К примеру, уменьшение вылета расточной оправки малого диаметра устраняет низкочастотные вибрации с частотой изгибных колебаний. Но при этом повышается вероятность возникновения высокочастотных вибраций с частотой крутильных колебаний.

Это увеличение углов в плане до 45°, создание виброгасящих фасок и лунок, а также установка попарно нескольких инструментов, взаимно уравновешивающих колебания сил резания, и т. п.

Очень важным средством предотвращения появления вибраций является назначение режимов резания в пределах запаса устойчивости упругой системы по скорости, по подаче, глубине резания и ширине среза. В частности, увеличение глубины резания, как правило, вызывает появление и усиление вибрации. При обдирочном и получистом точении увеличение подачи обычно приводит к устранению низкочастотных вибраций.

Применение оптимальных смазочно-охлаждающих жидкостей, снижающих трение в зоне резания, а также трение стружки и передней поверхности инструмента, существенно снижающих уровень усилий резания.

При обработке неустойчивых заготовок с использованием инструментов малой жесткости часто применяют разнообразные гасители колебаний. В частности, гидравлические, механические, динамические одно- и многомассовые виброгасители ударного действия и другие, которые поглощают энергию колебательного движения и тем самым снижают интенсивность вибрации.

1.5.5.12. Неточность станка и профильного инструмента

Погрешности станков регламентируются нормами ГОСТа, определяющими допуски и методы проверки их геометрической точности в ненагруженном состоянии. По геометрической точности все станки разделяются на пять групп. Если погрешности станков нормальной точности условно принять за 100% и трудоемкость их изготовления также за 100%, то для других точностных групп станков соотношения в этих показателях выглядят следующим образом.

Таблица 17. Погрешность станков

	Погрешность, %	Трудоемкость, %
Станки нормальной точности (группа Н)	100	100
Станки повышенной точности (группа П)	60	140
Станки высокой точности (группа В)	40	200
Станки особо высокой точности (группа А)	25	280
Станки особо точные (группа С)	16	450

Следует подчеркнуть, что погрешности геометрической точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки в виде систематических погрешностей. При этом их величина поддается предварительному анализу и расчету.

Различные погрешности станка приводят к различным погрешностям формы обрабатываемых деталей. Так, биение шпинделей токарных и

круглошлифовальных станков, вызываемое овальностью подшипников и опорных шеек шпинделей, приводит к погрешности формы деталей в поперечном сечении. Торцовое биение шпинделя неизбежно приводит к биению торцевых поверхностей деталей - тел вращения.

Биение передних центров токарных и круглошлифовальных станков при правильном положении оси шпинделя вызывает перекос оси обрабатываемой поверхности при сохранении правильной окружности в поперечном сечении заготовки. Причинами биения переднего центра в этом случае могут быть: биение оси конического отверстия шпинделя; биение оси переднего центра по отношению к оси его хвостовика; неточность посадки переднего центра в коническом отверстии шпинделя.

При биении переднего центра на величину ***E,*** как показано на рис. 1.80, центровая линия в процессе обработки описывает конус с вершиной у заднего центра. Основание этого конуса равно биению переднего центра, а осью конуса является ось вращения шпинделя станка. В процессе обтачивания в поперечном сечении заготовки (сечение А-А) получается правильная окружность заданного радиуса, так как вращение заготовки происходит вокруг правильно расположенной и постоянной оси вращения О-О шпинделя.

Однако след центровой линии, соединяющей центровые отверстия заготовки, оказывается смещенным от центра сечения на расстояние ***E.*** Поэтому после обработки заготовка приобретает форму цилиндра, ось которого наклонена по отношению к линии центровых отверстий на угол ***α***. При этом sin***α=E/L,*** где ***E*** - эксцентриситет переднего центра; ***L*** - длина заготовки.

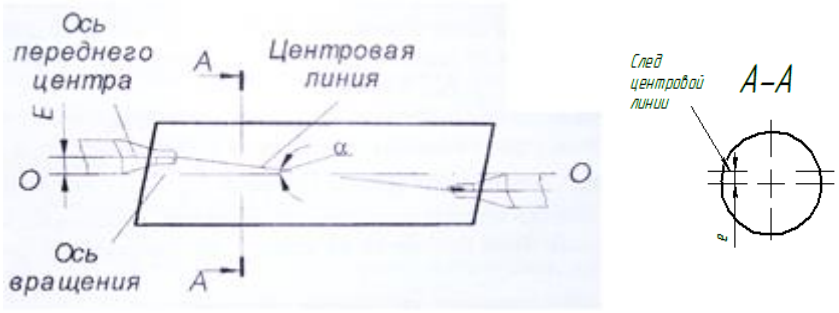


Рис. 1.80. Влияние биения переднего центра на точность обработки. Погрешность при обтачивании за один установ.

В частном случае при обтачивании заготовки за две установки (с перевертыванием для перестановки поводкового хомутика) обработанная заготовка получается двуосной с наибольшим углом пересечения осей равным ***2a*** (рис. 1.81).

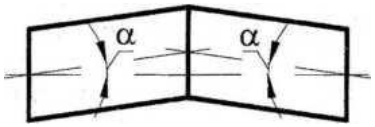


Рис. 1.81. Влияние биения переднего центра на точность обработки.

Биение оси конуса отверстия шпинделя вертикально-сверлильного станка по отношению к оси вращения шпинделя вызывает увеличение диаметра просверливаемого отверстия в связи с его “разбивкой”.

Неперпендикулярность оси шпинделя вертикально-фрезерного станка относительно плоскости его стола в поперечном направлении вызывает не параллельность обработанной плоскости по отношению к установочной, численно равную линейному отклонению от перпендикулярности на ширине заготовки. При неперпендикулярности оси шпинделя этого станка по отношению к плоскости его стола в продольном направлении возникает вогнутость обработанной поверхности, величина которой зависит от угла наклона шпинделя, диаметра фрезы и ширины обрабатываемой поверхности.

При не параллельности оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости цилиндрическая поверхность обрабатываемой заготовки, закрепленной в патроне станка, приобретает коническую форму. При этом изменение радиуса ***r*** заготовки равно линейному отклонению ***a*** оси от параллельности по отношению к направляющим на длине заготовки, т.е.

$$r_{max} = r + \text{а}.$$

При не параллельности оси шпинделя относительно направляющих в вертикальной плоскости обрабатываемая поверхность приобретает форму гиперболоида вращения, наибольший радиус которого

$$r_{max} = \sqrt{r^2 + b^2},$$

где ***b***- линейное отклонение оси шпинделя от параллельности по отношению к направляющим в вертикальной плоскости на длине ***L*** обрабатываемой заготовки.

Износ станков обусловливает увеличение систематических погрешностей обрабатываемых заготовок. В первую очередь, это связано с тем обстоятельством, что износ рабочих поверхностей станка происходит неравномерно, в результате чего изменяется взаимное расположение отдельных его узлов, вызывающее возникновение дополнительных погрешностей обрабатываемых заготовок. При этом одной из основных причин потери точности станков является износ их направляющих. К примеру, неравномерный износ передней и задней направляющих вызывает наклон суппорта и смещение резца в горизонтальной плоскости, что непосредственно увеличивает радиус обрабатываемой поверхности. Неравномерность изнашивания направляющих по их длине приводит к появлению систематической погрешности формы обрабатываемых заготовок.

Погрешность формы профильного инструмента (профильные резцы, протяжки, абразивные круги) непосредственно приводит к погрешностям формы обрабатываемых поверхностей деталей. По этой причине допуски на отклонения формы профильного инструмента должны быть более жесткими, чем допуски на отклонение формы обрабатываемой детали. Однако может

иметь место брак вследствие неточной установки профильного инструмента (биение, смещение относительно заготовки).

1.5.5.13. Упругая деформация заготовки

При закреплении заготовок в приспособлениях или непосредственно на станке с помощью универсальных зажимных устройств (патроны, планшайбы, тиски) часто возникают деформации по всему сечению или местные деформации. Такие деформации, как правило, вызывают погрешности формы заготовки и обработанной детали. Для иллюстрации сказанного обратимся к схеме обработки кольца, приведенной на рис. 1.82. При закреплении кольца по наружному диаметру в трехкулачковом патроне оно деформируется, принимая форму, показанную на рис. 1.82, а. После этого осуществляется расточка отверстия, которое принимает правильную геометрическую форму (рис. 1.82, б). Однако после раскрепления заготовки в результате упругой деформации форма наружной поверхности восстановится, а обработанная поверхность отверстия исказится, как показано на рис. 1.82, в.

Величина прогибов и выпучиваний кольца y_1 и y_2 зависит от значения усилия зажима Q на каждом кулачке патрона и жесткости заготовки кольца. При прочих равных условиях значения величин y_1 и y_2 значительно снижаются при переходе от закрепления в трехкулачковом патроне к закреплению в четырех- и шестикулачковом патронах, поскольку с увеличением числа точек приложения усилий зажатия к заготовке, ее закрепление становится более равномерным и надежным, а величина Q уменьшается.

Наименьшая деформация и искажение формы деталей имеют место при закреплении заготовок в разрезных оправках и в цанговом патроне, широко используемых при обработке маложестких деталей приборов типа колец, гильз, труб.

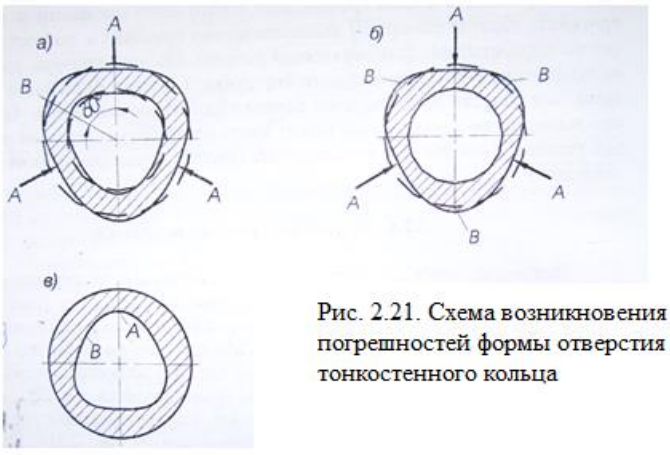


Рис. 2.21. Схема возникновения погрешностей формы отверстия тонкостенного кольца

Рис.1.82. Схема возникновения погрешностей формы отверстия тонкостенного кольца

Для обработки с минимальной деформацией корпусных деталей, кронштейнов, рычагов и других подобных деталей приборов чрезвычайно важен правильный выбор схемы установки и закрепления их заготовок. При этом сами заготовки должны иметь определенную точность формы и, в первую

очередь, установочных поверхностей. Так, при установке заготовок на плоскую поверхность последняя должна быть достаточно точной в отношении плоскостности.

1.5.5.14. Действие внутренних напряжений

Как при изготовлении заготовок, так и при их механической обработке резанием и давлением, при термической обработке и при электролитических покрытиях в металле без приложения внешней нагрузки возникают внутренние напряжения. До некоторых пор внутренние напряжения взаимно уравновешиваются, однако в процессе механической обработки происходит их перераспределение, сопровождающееся деформацией обрабатываемых заготовок и, как следствие, искажением формы и взаимного расположения поверхностей.

Различают следующие источники возникновения внутренних напряжений в заготовках и деталях.

Литейные напряжения возникают вследствие неравномерного нагрева и остывания различных по сечению участков отливок. Участки малого сечения остывают быстрее, чем участки большего сечения, в результате чего усадка металла происходит неравномерно, и в заготовке возникают внутренние напряжения.

Ковочные напряжения возникают по тем же причинам, что и литейные.

Термические напряжения возникают вследствие как неравномерности нагрева и остывания заготовок, так и в результате структурных изменений металла. Следует подчеркнуть, что термические напряжения могут быть столь велики, что вызывают не только деформации заготовок, приводящие к искажению формы и взаимного расположения поверхностей, но и к образованию трещин.

Сварочные напряжения возникают в заготовках, деталях и сборочных единицах в результате неравномерного их нагрева и остывания, особенно на участках, близких к сварочному шву. Смежные со швом участки, обладающие более низкой температурой, препятствуют расширению нагретого металла, что приводит к появлению напряжений сжатия. При остывании в наплавленном слое возникают остаточные напряжения растяжения, так как окружающий шов металл тормозит уменьшение его объема. Величина этих напряжений может достичь предела текучести металла. Как правило, сварочные напряжения приводят к погрешностям взаимного расположения поверхностей деталей или сборочной единицы.

Напряжения, связанные с наклепом металла при его холодной обработке давлением. При прокатке, волочении, накатывании резьбы и зубьев зубчатых колес, а также при отделочно-упрочняющей обработке поверхностным пластическим деформированием происходит наклеп (деформационное упрочнение) поверхностного слоя. При этом в результате неравномерного упрочнения-наклепа по сечению детали (постепенно убывающего от поверхности), а также нарушения однородности структуры металла на любом упрочненном участке возникают, как правило, напряжения сжатия,

положительно сказывающиеся при работе деталей в условиях воздействия знакопеременных нагрузок.

Выше были рассмотрены так называемые технологические напряжения, появляющиеся при обработке деталей или при изготовлении сборочных единиц. Кроме этих, различают так называемые конструкционные напряжения, обусловленные конструкцией детали, например, на участках резкого перехода от большего сечения к меньшему (галтельные участки).

Остаточные напряжения проявляются как в процессе механической обработки заготовки, так и при эксплуатации детали в собранном приборе. При обработке резанием за счет срезания даже весьма тонких слоев металла нарушается равновесие напряжений в заготовке, они как бы освобождаются, в результате чего нарушается правильная форма поверхностей и их взаимное расположение. Например, при шлифовании закаленных деталей типа пластин, линеек, плит они теряют плоскостность, их коробит, причем во многих случаях весьма сложно, в различных плоскостях.

Особо опасно проявление внутренних напряжений у высокоточных деталей приборов типа кронштейнов, корпусов, рычагов, точное взаимное расположение поверхностей которых определяет надежность и точность сборочной единицы или прибора в целом.

Негативное влияние внутренних напряжений частично или полностью устраняется двумя путями: построением технологического процесса, исключающего или уменьшающего напряжения, и снятием напряжений. Первый путь не всегда осуществим, когда неизбежно получение заготовки литьем или прокаткой, термическая ее обработка и т. п. Второй путь - снятие напряжений - осуществим практически во всех случаях, а поэтому и наиболее часто применяется.

Различают два способа снятия внутренних напряжений: естественное и искусственное старение деталей и сборочных единиц. При естественном старении отливок их выдерживают в течение года или более на открытом воздухе. При длительном вылеживании отливок в условиях переменных температур (суточных и времен года) внутренние напряжения в них в значительной степени ослабевают. Такой способ старения применяют перед обработкой особо ответственных базовых деталей измерительных приборов (основания, столы, стойки, кронштейны).

Технологические процессы искусственного старения выполняются соответствующей термической обработкой заготовок и деталей. В частности, применяются:

1) Полный нормальный отжиг. Его назначение - снятие внутренних напряжений, возникающих при литье, ковке, штамповке, сварке. Такой отжиг осуществляется в печи при Т= 300°С (чугунных отливок — до Т = 800°С) с выдержкой в печи в течение 4 часов и остыванием с печью (темп остывания 50°/ч).

2) Низкий отжиг - отпуск. Его назначение - снятие внутренних напряжений после грубой механической обработки точной детали. Процесс тот же, что и при полном нормальном отжиге, но при Т = 400°С.

3) Искусственное старение. Его назначение - стабилизация структуры металла точных деталей после закалки и снятие напряжений при закалке. Осуществляется нагревом до Т = 120-150°С с последующей выдержкой в течение суток и остывании на воздухе. К примеру, искусственное старение производится между предварительным и финишным шлифованием закаленных высокоточных деталей, в которых после обдирочного шлифования могут возникнуть микротрещины.

Схема построения технологического процесса обработки точных деталей из отливок включает в себя: естественное или искусственное старение - обдирочная обработка - низкий отжиг - отпуск - чистовая (финишная) обработка.

Схема построения технологического процесса обработки точных деталей из проката включает в себя: обдирочная обработка - низкий отжиг - отпуск - чистовая (финишная) обработка.

Таким образом, проанализировав причины, вызывающие погрешности формы и взаимного расположения поверхностей детали, можно наметить следующие основные направления повышения точности и экономичности их обработки.

1) Повышение жесткости технологической системы СПИД за счет совершенствования конструкции станков, повышения качества сборки, сокращения общего числа звеньев технологической системы, совершенствования конструкции оснастки и инструмента, правильного выбора формы и размера заготовки и последовательности обработки, повышения точности центровки.

2) Повышение точности станка (подшипников, шпинделя, направляющих, шпинделя задней бабки токарных и шлифовальных станков). Повышение точности профильного инструмента и тщательности его заточки с целью уменьшения усилий резания.

3) Правильный выбор формы и размеров заготовки, припуска на обработку при выполнении каждой операции, а также схемы базирования, установки, способа закрепления и конструкции универсальных зажимных устройств и специальных приспособлений.

4) Выбор конструкции детали и сборочных единиц с учетом вероятности появления внутренних напряжений, возможности их уменьшения и полного исключения соответствующим построением технологического процесса обработки.

1.6. Влияние шероховатости и состояния поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей

1.6.1. Параметры шероховатости

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей и оказывает влияние на эксплуатационные показатели.

Геометрические характеристики качества поверхности показаны на рис.1.85 в порядке уменьшения их абсолютных величин: отклонения формы

(макрогеометрия); волнистость; шероховатость (микрогеометрия); субмикрошероховатость. В отдельных случаях волнистость может быть больше погрешности формы, а шероховатость больше волнистости. Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностями формы поверхности. Критерием для их разграничения служит отношение шага S к высоте неровностей *R*.

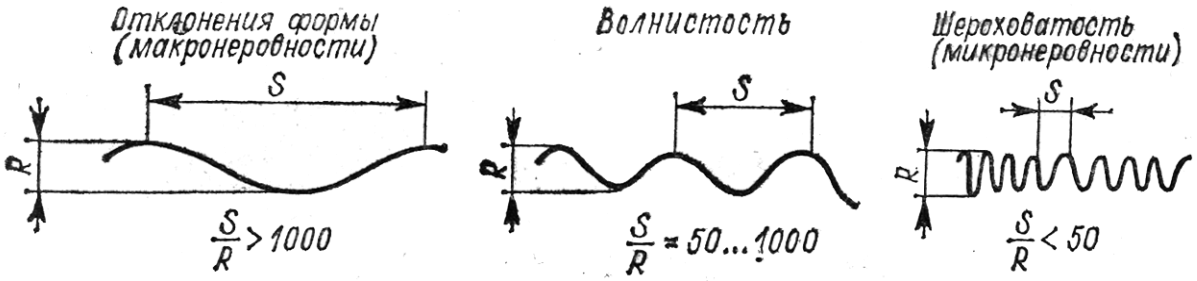


Рис. 1.85. Классификация геометрических характеристик качества поверхности

Под ***шероховатостью поверхности*** понимается совокупность микронеровностей высотой 10^{-2}-10^{-3} мкм с шагом меньшим базовой длины. Все промежуточные неровности между шероховатостью и макроотклонением относится к ***волнистости*** поверхности. Микронеровности, соизмеримые с размерами кристаллической решётки и расположенные на шероховатости, относятся к субшероховатости.

Шероховатость поверхности изделий независимо от материала и способа изготовления можно оценивать количественно одним или несколькими параметрами: средним арифметическим отклонением профиля *Ra*, высотой неровностей профиля по десяти точкам *Rz*, наибольшей высотой неровностей профиля R_{max}, средним шагом неровностей S_m, средним шагом местных выступов профиля *S*, относительной опорной длиной профиля t_p. Параметр *Ra* является предпочтительным. Базирование при измерении шероховатости производится по средней линии профиля

Количественно шероховатость поверхности можно определить по тем или иным показателям. При этом следует иметь в виду, что количественно шероховатость устанавливают независимо от способа ее обработки. Для оценки шероховатости поверхности используют, действующий в настоящее время комплект международных норм, характеризующих геометрическую структуру обработанной поверхности – ISO-3274:1997 и ISO 4287:1998. Под этим понятием понимается объединение всех неровностей поверхности. Наиболее часто она анализируется в сечении, перпендикулярном к поверхности. При наличии ярко выраженных следов обработки используется сечение, перпендикулярное таким следам.

К настоящему времени накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал по связи параметров шероховатости с важнейшими функциональными показателями деталей, узлов машин и приборов, такими как износостойкость при всех видах трения, контактная жесткость поверхности, износостойкость при переменных нагрузках, прочность

прессовых соединений, отражательная способность и затухание в волноводах, прочность сцепления при склеивании, коррозионная стойкость и качество лакокрасочных покрытий, точность измерения, соотношение между допусками размера и шероховатостью поверхности и т.д.

1.6.2. Влияние шероховатости на эксплуатационные свойства деталей

Параметры, определяющие эксплуатационные свойства деталей и их соединений (контактная жёсткость, коэффициент трения, герметичность, прочность посадок и т.п.) определяются параметрами состояния поверхностного слоя.

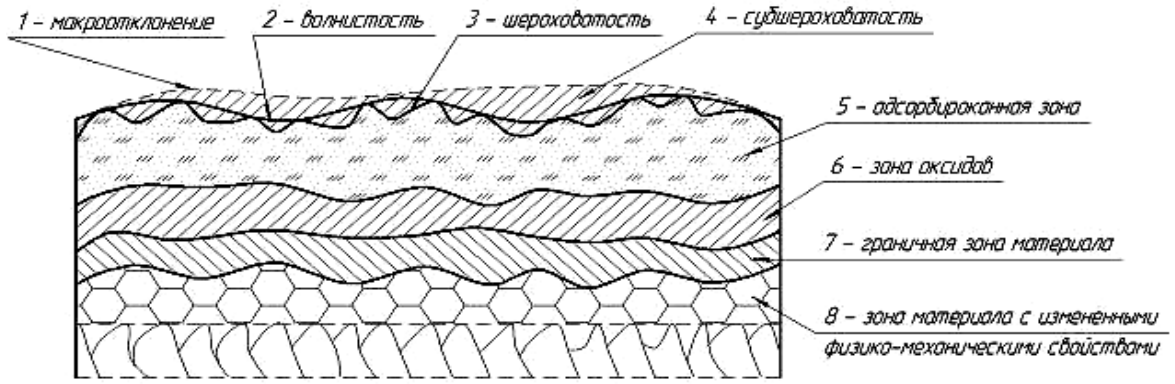


Рис. 1.86. Схема строения поверхностного слоя

В условиях эксплуатации машины или прибора, внешним воздействиям, в первую очередь, подвергаются поверхности их деталей. Износ трущихся поверхностей, зарождение трещин усталости, смятие, коррозионное и эрозионное разрушения, разрушение в результате кавитации и др. — это процессы, протекающие на поверхности деталей и в некотором прилегающем к поверхности слое. Естественно, что придание поверхностям деталей специальных свойств, способствует существенному повышению показателей качества машин в целом и в первую очередь показателей надежности.

Качество поверхности является одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства деталей машин и приборов и обусловливается свойствами металла и методами обработки: механической, электрофизической, электрохимической, термической и т. д. В процессе механической обработки (резание лезвийным инструментом, шлифование, полирование и др.) поверхностный слой деформируется под действием нагрузок и температуры, а также загрязняется примесями (частицы абразива, кислород) и другими инородными включениями.

Прочность деталей зависит от шероховатости поверхности. Разрушение детали, особенно при переменных нагрузках, в большей степени объясняется концентрацией напряжений, вследствие наличия неровностей. Чем меньше шероховатость, тем меньше возможность возникновения поверхностных трещин от усталости металла. Отделочная обработка деталей (доводка, полирование и т. п.) обеспечивает значительное повышение предела их усталостной прочности.

Уменьшение шероховатости поверхности значительно улучшает ***антикоррозионную стойкость*** деталей. Это имеет особенно важное значение в том случае, когда для поверхностей не могут быть использованы защитные покрытия (поверхности цилиндров двигателей и др.).

Надлежащее качество поверхности играет немаловажную роль и в сопряжениях, отвечающих условиям ***плотности, герметичности, теплопроводности***. С понижением шероховатости поверхностей улучшайся их способность к отражению электромагнитных, ультразвуковых и световых волн; уменьшаются потери электромагнитной энергии в волноводных трактах, резонирующих системах, уменьшается емкость электродов; в электровакуумных приборах уменьшается газопоглощение и газовыделение, облегчается очистка деталей от адсорбированных газов, паров и пыли.

Важной геометрической характеристикой качества поверхности является направленность штрихов — следов механической и других видов обработки. Она влияет на ***износостойкость поверхности, определенность посадок, прочность прессовых соединений***. В ответственных случаях конструктор должен оговаривать направленность следов обработки на поверхности детали. Это может оказаться необходимым, например, в связи с направлением относительного скольжения сопряженных деталей или с направлением движения по детали струи жидкости или газа. ***Изнашивание*** уменьшается и достигает минимума при совпадении направления скольжения с направлением неровностей обеих деталей.

Высокой ***точности*** всегда отвечают малые шероховатости и волнистость поверхности. Это определяется не только условиями работы сопряженных деталей, но и необходимостью получения надежных результатов измерения в производстве. Уменьшение шероховатости поверхности вносит большую определенность в характер сопряжения, так как размер зазора (или натяга), полученный в результате контроля деталей, отличается от размера эффективного зазора или натяга, имеющего место в эксплуатации или при сборке. Эффективный натяг при сборке уменьшается, а зазор в процессе работы механизма увеличивается, причем тем больше и быстрее, чем более грубо обработаны сопрягаемые поверхности.

Малую шероховатость поверхности бывает необходимо использовать и для придания ***красивого внешнего вида*** детали или удобства содержания поверхностей в чистоте и т. п.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, то требования к шероховатости поверхности не устанавливаются и шероховатость этой поверхности контролироваться не должна. Требования к шероховатости поверхности не включают требований к дефектам поверхности (раковины и пр.), поэтому при контроле шероховатости поверхности влияние дефектов поверхности должно быть исключено. В некоторых случаях допускается устанавливать требования к шероховатости отдельных участков одной поверхности, которые могут быть различными.

ГОСТ 2789—73 устанавливает требования к шероховатости поверхности независимо от способа ее получения или обработки. Это дает возможность применять требования стандарта к поверхностям, обработанным резанием и другими методами, например, литьем, прессованием, электрофизическими и электрохимическими методами и т. д. Параметры поверхности определяются только для случая очистки абразивоструйным методом поверхности, ранее неокрашенной или после полного удаления прежних покрытий.

Взаимосвязь параметров качества поверхности деталей и их эксплуатационных свойств является одним из основных направлений исследований в области машино- и приборостроения.

В настоящее время достаточно изучены вопросы связей качества обработанной поверхности с эксплуатационными показателями деталей и узлов машин и приборов (трение и износ при скольжении и качении, жидкостное трение контактная жесткость, прочность прессовых соединений, отражательная способность, износостойкость при переменных нагрузках, коррозионная стойкость и качество лакокрасочных покрытий, точность измерений, соотношение между допусками размера и шероховатостью поверхности и т. д.).

Трение и износ деталей в значительной степени связаны с макронеровностями, волнистостью, микронеровностями, а также с направлением штрихов (следов) обработки. На рис.1.87 показано влияние шероховатости поверхности на износостойкость деталей машин. При взаимном перемещении контактирующих плоских (рис.1.87, а) или цилиндрических (рис.1.87, б) поверхностей, имеющих микронеровности (шероховатость), в первоначальный момент происходит срез, отламывание и пластический сдвиг вершин неровностей, так как их контакт происходит по вершинам неровностей. Зависимость износа от времени работы трущихся поверхностей видна из графика (рис.1.87, г, д). Сначала сравнительно быстро (участок I) за период времени T_1 происходит начальное изнашивание (приработка). При правильном режиме смазывания (рис.1.87, в) изнашивание протекает медленно (участок II), что обусловлено образованием равновесной шероховатости. Этот период времени определяет срок службы детали. Катастрофическое изнашивание пары характеризуется участком III.

На рис.1.87, д кривая 2 характеризует износ поверхностей с меньшими начальными шероховатостями, чем кривая l. В этом случае величина и время переработочного изнашивания уменьшаются, а интенсивность эксплуатационного изнашивания остается той же. При меньшей шероховатости сопряженных поверхностей время работы деталей будет большим ($T_2 > T_{1)}$

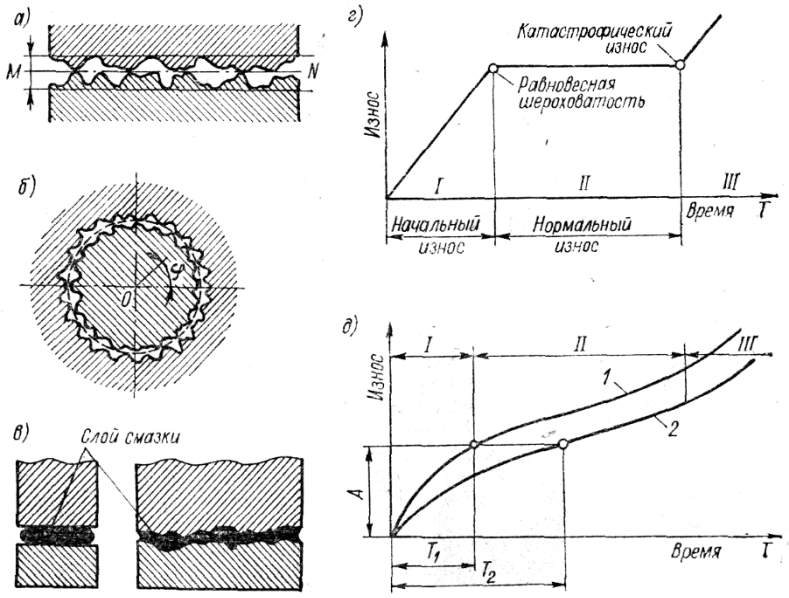


Рис. 1.87. Шероховатость поверхности и её влияние на износостойкость. а, б — схемы контакта сопряженных деталей по образующей (вдоль оси) и по окружности; в — идеализированный и фактический контакт поверхностей; г, д — типовые графики износа во времени.

1.6.3. Как формируется микрогеометрия.

Причины образования шероховатости – геометрия режущего инструмента, возникновение нароста на режущем лезвии, параметры режима обработки жесткость технологической системы (упругие деформации).

Шероховатость обработанной поверхности является следствием пластической деформации поверхностного слоя детали при образовании стружки, копирования неровностей режущих кромок инструмента и трения его о заготовку, вырывания с поверхности частиц материала и др. причин. Обработанную резанием поверхность можно в первом (грубом) приближении рассматривать как след режущей кромки инструмента. При строгании форма режущей кромки и перемещение образца в конце каждого холостого хода на величину подачи определяют шероховатость поверхности - образование рисок в направлении перпендикулярном возвратно-поступательному движению стола. Зазубрины на режущей кромке резца образуют шероховатость во впадинах между гребешками. При точении след режущей кромки представляет собой винтовую линию поверхности с шагом, равным подаче резца за один оборот заготовки.

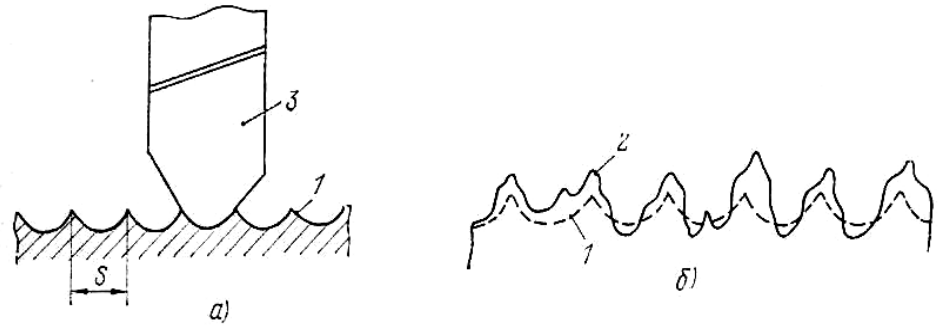


Рис. 1.88. Схема образования неровностей на поверхности, обработанной лезвийным инструментом:
а - образование закономерного (регулярного) поперечного профиля поверхности;
б - искажение профиля за счет пластических деформаций при отделении стружки;
1, 2 – соответственно закономерный и искаженный профили поверхности;
3 – резец

Шероховатость обработанной поверхности в направлении главного движения при резании именуют *продольной*, а в направлении подачи - *поперечной* шероховатостью. Преобладающее направление следов механической обработки поверхности или следов трения называют *направлением неровностей.*

Кроме численных параметров установлено шесть видов направлений неровностей, изображенных табл. 4.

Таблица 18. Схемы неровностей

Направление неровностей	Схематическое изображение	Обозначение направления рисок
Параллельное		
Перпендикулярное		
Пересекающееся		
Произвольное		
Кругообразное		

Радиальное		

Требования к шероховатости конкретной продукции устанавливают на основании знания связи параметров шероховатости с функциональными показателями данного изделия. К настоящему времени накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал по связи параметров шероховатости с важнейшими функциональными показателями деталей, узлов машин и приборов, такими как износостойкость при всех видах трения, контактная жесткость поверхности, износостойкость при переменных нагрузках, прочность прессовых соединений, отражательная способность и затухание в волноводах, прочность сцепления при склеивании, коррозионная стойкость и качество лакокрасочных покрытий, точность измерения, соотношение между допусками размера и шероховатостью поверхности и т.д.

Этот материал может служить основанием для правильного формулирования требований к шероховатости поверхности.

Волнистость поверхности образуется в результате неравномерности подачи при точении и шлифовании, неплоскостности направляющих и вынужденных колебаниях системы станок - заготовка - инструмент, возникающих из-за неравномерности сил резания, наличия неуравновешенных масс, копирования волнистости режущего инструмента, искажения формы шлифовального круга и неравномерный износ его, а также погрешности движения инструмента или заготовки.

При шлифовании сильно сказывается дисбаланс круга. При зубофрезеровании ошибка червяка делительной передачи станка проявляется в виде волнистой боковой поверхности зуба.

От шероховатости волнистость отличается значительно большим шагом; при чистовой обработке он не менее 0,25 мм, при черновой - превышает 8 мм. Нередко бывает, что высота волны при чистовом точении и цилиндрическом шлифовании доходит до 15 мкм при шаге до 14 мм.

1.6.4. Методы контроля и оценки шероховатости

Шероховатость может быть оценена различными методами и измерительными средствами, наиболее распространенными из которых являются:

- компараторы (эталоны сравнения) по ИСО 8503-2;
- микроскоп по ИСО 8503-3;
- профилометр (или профилограф) по ИСО 8503-4;
- метод реплик по стандартам ИСО 8503-5 или NACE RP 0287;

- электронные приборы.

Наиболее простым и доступным методом оценки шероховатости является использование компараторов ИСО, технические характеристики которых соответствуют стандарту ИСО 8503-1. Компараторы используются двух типов и представляют собой плоские пластины, разделенные на четыре сегмента с различной строго калиброванной шероховатостью

Процедура определения шероховатости исследуемой поверхности включает в себе следующие действия :

1) Очистка поверхности от пыли и мусора.

2) Подбор компаратора (S или G), соответствующего профилю исследуемой поверхности.

3) Сравнение шероховатости исследуемой поверхности поочередно с четырьмя сегментами компаратора. При необходимости для этого можно использовать лупу с увеличением не более 7. Сравнение производится при расположении компаратора рядом с исследуемым участком поверхности.

4) Определение группы шероховатости исследуемой поверхности:

- тонкая - шероховатость между сегментами 1 и 2, но ниже, чем сегмента 2.
- средняя – шероховатость между сегментами 2 и 3, но ниже, чем сегмента 3.
- грубая – шероховатость между сегментами 3 и 4, но ниже, чем сегмента 4.

Если шероховатость исследуемого участка ниже нижней границы группы “тонкая”, то она оценивается как “очень тонкая”, если шероховатость выше верхней границы группы “грубая”, то она оценивается как “очень грубая”.

Если визуальная оценка затруднена, то может быть использована осязательная оценка путем легкого “царапания” внутренней поверхностью ногтя пальца поочередно исследуемой поверхности и сегментов компаратора.

В случае сомнений в результате визуальной оценки шероховатости параметры шероховатости могут быть оценены в соответствии со стандартами ИСО 8503-3 (метод с использованием микроскопа) или ИСО 8503-4 (применение прибора с мерительным штифтом).

1.6.5. Приборы для измерения шероховатости

Контактные щуповые приборы.

Приведенные ниже термины взяты из стандарта ИСО 3274:1996.

Щуповой прибор (stylus instrument) — средство измерений для исследования поверхностей посредством щупа и получения отклонений в виде профиля поверхности, вычисления параметров и возможной записи профиля.

Измерительный контур (measurement loop) — замкнутая цепь, которая включает все механические компоненты, связывающие деталь и щуп, например, основание прибора, держатель детали, измерительную стойку, привод, датчик.

Жесткость измерительного контура — обязательное условие для обеспечения измерения шероховатости поверхности. Любая деформация

внутри измерительного контура — погрешность измерения шероховатости поверхности.

Привод (drive unit) — элемент прибора, который перемещает датчик вдоль измерительной поверхности и передает горизонтальное положение щупа в 16 форме горизонтальной координаты профиля. Приводы характеризуются наибольшей длиной трассирования.

Датчик (probe, pick-up) — элемент, который содержит щуп с иглой, преобразователь (и опору для опорных датчиков).

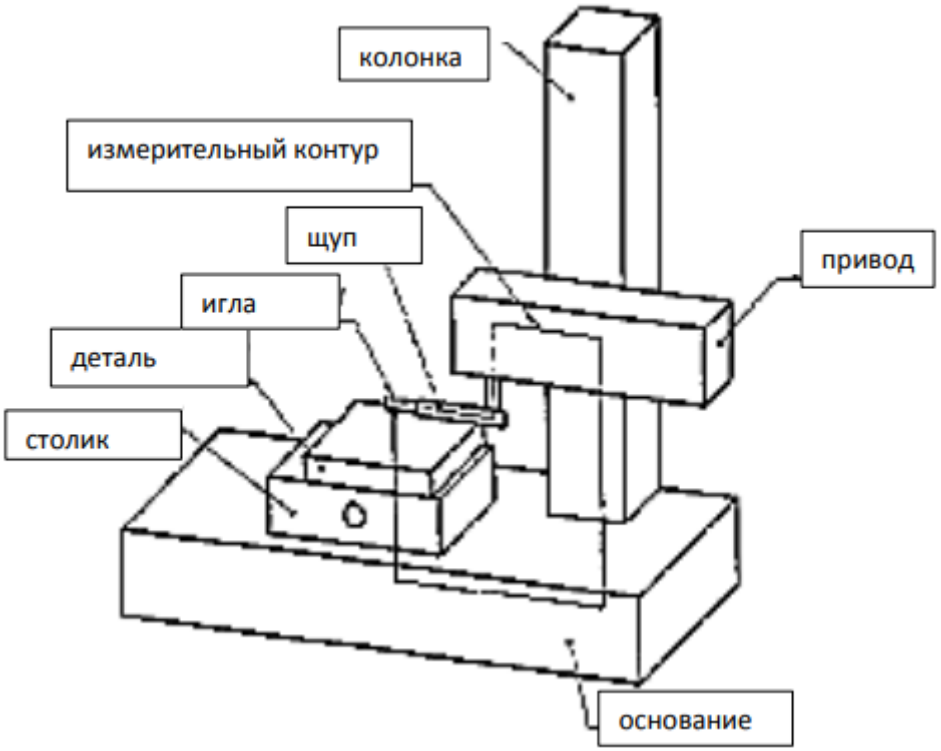


Рис.1.89. Структурная схема щуповых приборов

Игла (stylus) — элемент, состоящий из номинально правильного конуса с определенным углом и номинально сферической вершиной определенного радиуса. Игла является очень важным элементом в определении профиля щуповыми приборами.

Преобразователь (transducer) — устройство, которое преобразует вертикальные координаты ощупанного профиля, определенные относительно базового профиля, в сигнал, используемый в приборе. Преобразователь не осуществляет преднамеренной модификации профиля.

Усилитель (amplifier) — устройство, преобразующее сигнал в приборе без преднамеренного преобразования профиля.

Аналого-цифровой преобразователь АЦП (A to D converter) — устройство, которое превращает форму сигнала, присутствующую в приборе, в цифровое значение.

Ввод данных (data input) — интерфейс прибора, который позволяет ввести один или несколько типов профиля из внешнего компьютера. ппрпривод колонка основание столик деталь игла щуп измерительный контур.

Вывод данных (data output)— интерфейс прибора, который позволяет вывести один или несколько типов профиля во внешний компьютер.

1.6.6. Прибор для контроля шероховатости модели Perthometer M.

Прибор предназначен для определения параметров шероховатости поверхности контактным щуповым методом (рис.1.90.).

• Портативный прибор с миниатюрным выносным датчиком.

• Работа прибора основывается на использовании удобной функциональной программы, которая позволяет осуществить необходимую настройку прибора (установка условий измерения, выбор языка, выбор параметров для распечатки результатов измерений и т.д.).

• Возможность определения периодических и апериодических профилей.

• Установка длины оценки в соответствии со стандартами без предварительных настроек.

• Встроенный принтер позволяет распечатывать результаты измерений сразу после их выполнения.

• Подсоединение Perthometer M напрямую к ПК через последовательный интерфейс (стационарный вариант применения).





Рис.1.90. Две модификации прибора Perthometer M: M1 и M2

Отличия Perthometer M2 от Perthometer M1:

• Большее количество измеряемых параметров.

• Имеет встроенную память для хранения более 200 измеренных результатов.

• Позволяет производить контроль допусков, выбор вертикальной шкалы и определение ассиметричны линий пересечения для расчета количества пиков.

Прибор применяется для измерения шероховатости поверхности таких деталей, как наружные поверхности вращения, внутренние поверхности вращения, зубчатые колеса и др. (рис. 1.91.).



Рис.1.91. Применение прибора Perthometer M2 для измерения шероховатости поверхности различных деталей машин.

Прибор построен на применении микропроцессорной техники. Результаты измерений выводятся на жидкокристаллический дисплей и на принтер. Приборы имеют выход на внешний компьютер. Для расширения области использования прибор снабжается различными типами датчиков, которые различаются размером корпуса, расположением и формой опор. Особенностями прибора являются автономное питание и возможность измерения параметров шероховатости на плоскостях, ориентированных под разными углами в пространстве.

Прибор прост в работе: упрощены процедуры установки и измерения, режимы и список параметров измерения вводятся с мембранной клавиатуры. Блок обработки данных имеет цифровой и графический выводы и встроенный принтер. Распечатываемый протокол измерений содержит не только численные значения измеряемых параметров, но и условия их получения. Профилограмма профиля значительно расширяет представления об измеряемой поверхности.

Основные эксплуатационные характеристики деталей. Важнейшими эксплуатационными характеристиками деталей машин являются износостойкость и сопротивление усталости.

Износостойкость определяет сопротивление поверхности детали изнашиванию в процессе эксплуатации. При изнашивании изменяются размеры и геометрическая форма поверхностей, что приводит к изменению характера сопряжении деталей, потере точности относительного расположения деталей и узлов и нарушениям в работе машины.

Сопротивление усталости характеризует способность детали противостоять многократно повторяющимся знакопеременным нагрузкам в

процессе эксплуатации. Недостаточное сопротивление усталости приводит к быстрой поломке деталей, вызывая отказ в работе машины.

Условия эксплуатации деталей разнообразны, в связи с чем в некоторых случаях к деталям предъявляют дополнительные требования, такие как коррозионная стойкость, отражательная способность, электрические, магнитные, эстетические свойства и т. д.

При конструировании и в процессе изготовления деталей важно знать, как влияют характеристики поверхностей деталей на их эксплуатационные свойства. Это дает возможность правильно регламентировать требования к поверхностям деталей, избежать необоснованных затрат на их изготовление и уменьшить потери от брака.

Влияние шероховатости поверхности на эксплуатационные свойства деталей. Исследованиями установлено, что шероховатость поверхностей оказывает большое влияние на изнашивание деталей в процессе эксплуатации.

В условиях эксплуатации машин и механизмов внешним воздействиям в первую очередь подвергаются поверхности их деталей. Износ трущихся поверхностей, зарождение трещин усталости, смятие, коррозионное и эрозионное разрушения, разрушение в результате кавитации и др. – это процессы, протекающие на поверхности деталей и в некотором прилегающем к поверхности слое. Естественно, что придание поверхностям деталей специальных свойств, способствует существенному повышению показателей качества машин и механизмов в целом и в первую очередь показателей надежности.

Качество поверхности – это совокупность всех служебных свойств поверхностного слоя материала. Под термином «поверхностный слой» понимается сама поверхность и ее некоторый поверхностный слой, отличающийся от материала сердцевины детали. Глубина слоя h (рисунок 1.92,а) различная в зависимости от условий эксплуатации детали: несколько мкм – для измерительного калибра, несколько сотен мкм – для вала машины.

Качество поверхности является одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства деталей машин.

Наиболее существенным для практических целей является установление зависимости между параметрами конкретного технологического процесса обработки поверхности, показателями качества поверхностного слоя и показателями деталей машин в эксплуатации.

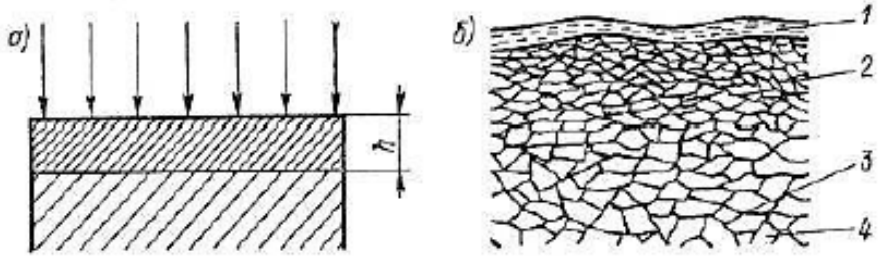


Рис. 1.92. Поверхностный слой (а) и схема его строения после механической обработки (б)

Качество поверхностного слоя металла обусловливается свойствами металла и методами обработки: механической, электрофизической, электрохимической, термической и т.д. В процессе механической обработки (резание лезвийным инструментом, шлифование, полирование и др.) поверхностный слой деформируется под действием нагрузок и температуры, а также загрязняется примесями (частицы абразива, кислород) и другими инородными включениями.

Схематически строение поверхностного слоя детали после механической обработки представлено на рисунке 1.92, б. Упрочненный слой, состоящий из верхнего слоя 1, слоя 2 с текстурой, в котором зерна имеют преимущественную ориентацию, и пластически деформированного слоя 3, который имеет уменьшенную по сравнению с сердцевиной 4 плотность; в нем существенно увеличено количество дислокаций и других дефектов строения кристаллической решетки. Этот слой имеет увеличенную по сравнению с сердцевиной детали твердость.

Качество поверхности детали (заготовки) характеризуется шероховатостью, волнистостью, а также физико-химическими свойствами поверхностного слоя.

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине.

Под волнистостью поверхности понимают совокупность периодически чередующихся неровностей с относительно большим шагом, превышающим принимаемую при измерении шероховатости базовую длину. Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностями формы (макрогеометрией) поверхности.

Критерием для разграничения шероховатости и волнистости служит величина отношения шага к высоте неровностей. Для шероховатости (рисунок 1.93) l/H < 50; для волнистости L/HB = 50 - 1000; для макрогеометрии L/HB > 1000. Высота неровностей у шероховатой и волнистой поверхностей изменяется от долей мкм до 1 мм и более. Меньшие значения приведенного отношения (L/H и L/HB) лежат в области больших высот неровностей.

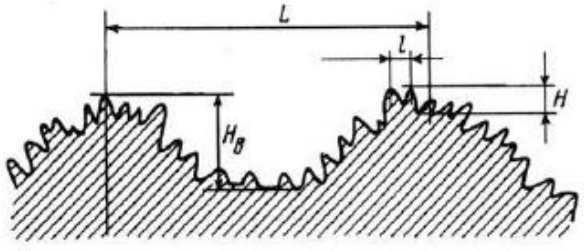


Рис.1.93. Шероховатость и волнистость поверхности

Шероховатость и волнистость поверхности взаимосвязаны с точностью размеров. Высокой точности всегда отвечают малые шероховатость и волнистость поверхности. Это определяется условиями работы сопряженных деталей и необходимостью получения надежных результатов измерения.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются его твердостью, структурными и фазовыми превращениями, величиной, знаком и

глубиной распространения остаточных напряжений, деформацией кристаллической решетки материала. При применении химико-термических методов обработки изменяется также химический состав материала поверхностного слоя.

У готовой детали качество обработанных поверхностей в основном обеспечивается при окончательной обработке; предшествующая обработка, а также заготовительные процессы в определенной степени влияют на качество поверхности готовой детали в силу технологического наследования исходных свойств заготовки на различных этапах ее обработки. Необработанные поверхности сохраняют качество, полученное при изготовлении заготовки.

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

По ГОСТ 2789—73 установлено шесть параметров шероховатости поверхности: Ra, Rz, Rmax, Sm, S и tp (рисунок 1.93).

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra определяется из абсолютных значений отклонений профиля y от средней линии в пределах базовой длины l.

$$R_a \coloneqq \frac{1000}{Q_B \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^{n} |y_i|$$

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz – это сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины.

$$R_z \coloneqq 1000 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{5} |y_{Pmi}| + \sum_{i=1}^{5} \sum_{i=1} |y_{Vmi}|}{Q_B \cdot 5}$$

Наибольшая высота неровностей профиля Rmax – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей Sm – это среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам S – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины.

Относительная опорная длина профиля tp – отношение опорной длины профиля к базовой длине.

ГОСТ регламентирует следующие пределы значений параметров шероховатости: Ra = 0,008 - 100 мкм; Rz и Rmax равны 0,025 — 1600 мкм; Sm и S равны 0,002— 12,5 мм; tp = 10 - 90%; l = 0,01 – 25 мм, а также направление

неровностей. Требования к шероховатости устанавливаются по одному или нескольким параметрам.

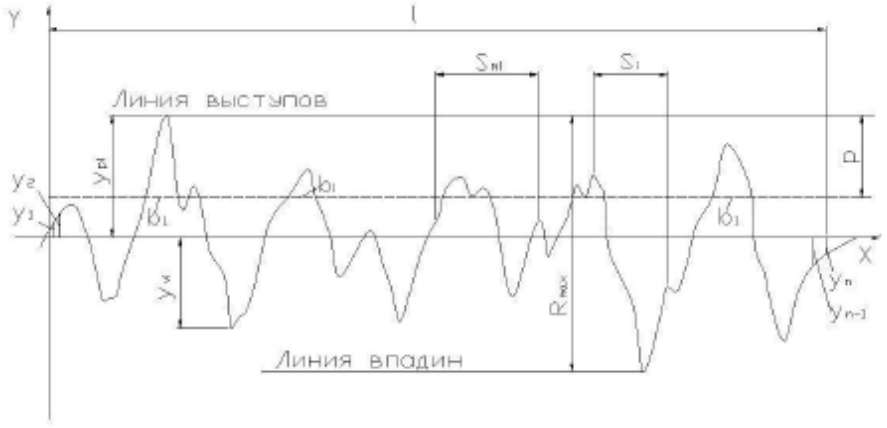


Рис. 1.93. Профилограмма поверхности

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

Принцип работы профилометров основан на измерении микронеровностей поверхности путем ощупывания ее алмазной иглой. При перемещении иглы по поверхности обработанной детали игла вследствие неровностей поверхности колеблется вдоль своей оси, причем частота и амплитуда ее колебаний соответствуют шагу и высоте неровностей. Прибор имеет электрическое устройство со специальными датчиками, с помощью которого автоматически определяет величину среднего квадратического отклонения от средней линии профиля обработанной поверхности детали. Шероховатость поверхности оценивается по среднему арифметическому отклонению точек профиля (Ra) и по высоте неровностей Rz. Данные приборы применяют для оценки, шероховатости поверхности с высотой микронеровностей не более 12 мкм и не менее 0,03 мкм. Данный прибор был разработан В.М. Киселевым.

Профилографы также основаны на принципе ощупывания поверхности алмазной иглой. Эти приборы являются оптико-механическими. При помощи оптического устройства профиль поверхности записывается на фотографической ленте в увеличенном виде. На профилограмме увеличение в вертикальном направлении (по высоте) больше, чем в горизонтальном (по длине). К числу таких приборов относятся профилографы К. Л. Аммона и Б. М. Левина: первый рассчитан на измерение шероховатости поверхности от 4-го до 11-го класса, второй — от 3-го до 12-го класса.

Обеспечение заданного качества машин и длительное сохранение его во многом зависит от качества поверхностей их деталей. Основная причина (80%) выхода из строя машин - это износ рабочих поверхностей сопряженных деталей. Значительно реже наблюдаются поломки деталей из-за некачественного изготовления, их конструктивного несовершенства или

заниженной усталостной прочности. Уменьшение износа повышает долговечность машин, сохраняет заданную конструктором точность и сокращает расходы на ремонт, которые нередко за весь срок эксплуатации машин превышают себестоимость их изготовления.

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

Для повышения износостойкости трущихся деталей путем уменьшения первичного износа целесообразно создавать поверхности скольжения, шероховатость которых соответствует шероховатости поверхностей приработанных деталей.

На первичный износ сопряженных деталей влияют форма и высота микронеровностей, направление неровностей (штрихов обработки) относительно направления скольжения поверхностей, волнистость и макрогеометрические отклонения поверхностей трения. Влияние этих факторов по-разному проявляется при сухом, граничном и жидкостном трении. Островершинные микронеровности изнашиваются быстрее плосковершинных. Шероховатость целесообразно снижать до определенного предела. На очень чистых поверхностях смазка удерживается плохо; в результате возможно увеличение износа и схватывание сопряженных деталей. Поэтому пришабренные поверхности лучше притертых, так как на них имеются углубления («карманы»), удерживающие смазку. Хорошее удержание смазки обеспечивается слоем пористого хрома, пористой труктурой металлокерамических деталей, а также системой мелких маслоудерживающих каналов, получаемых вибронакатыванием.

Большое влияние на износ трущейся пары оказывают волнистость и макрогеометрические погрешности сопряженных поверхностей. Эти дефекты уменьшают поверхности контакта и увеличивают удельные нагрузки по сравнению с расчетными, что обусловливает повышенный износ поверхностей сопряжения. Уменьшая волнистость и макрогеометрические погрешности, можно увеличить срок службы соединения.

На уменьшение износа влияют твердость, структура и химический состав поверхностного слоя. Наличие в слое остаточных напряжений сжатия несколько уменьшает износ, а остаточных напряжений растяжения — увеличивает. Это влияние больше проявляется при упругом контакте и меньше при упругопластическом. Износ изменяет остаточные напряжения в поверхностном слое детали. Остаточные напряжения растяжения при износе снимаются, и возникают напряжения сжатия. Остаточные сжимающие напряжения в поверхностном слое повышают долговечность деталей, работающих по принципу качения. Это обусловлено тем, что позади

катящегося ролика в материале сопряженной детали (шейке вала, кольце подшипника) возникают напряжения растяжения.

Шероховатость поверхности влияет на прочность деталей, работающих в условиях циклической и знакопеременной нагрузок. Впадины микропрофиля являются своеобразными надрезами на поверхности и в значительной степени влияют на концентрацию напряжений и образование усталостных трещин. Коэффициент концентрации напряжений для поверхностей, обработанных резанием, находится в пределах 1,5—2,5. Особенно вредно наличие рисок от режущего инструмента в местах концентрации напряжений (канавки, резкие переходы в сечениях). Эти дефекты часто являются причиной поломки многих ответственных деталей. Для устранения влияния дефектов предварительной обработки приходится назначать дополнительную отделочную обработку поверхностей ответственных деталей (шатунов, коленчатых валов, дисков и роторов турбин). Влияние шероховатости поверхности на прочность при ударной нагрузке заметно у заготовок из высокоуглеродистых сталей. Наличие наклепа и остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое повышает предел выносливости материала ответственных деталей (пружин, рессор, торсионных валов). Остаточные напряжения растяжения снижают ее.

Прочность сопряжений с натягом во многом зависит от шероховатости поверхностей. При запрессовке происходит сдвиг микронеровностей, и фактический натяг уменьшается по сравнению с расчетным. Прочность снижается значительнее при более шероховатых поверхностях. Прочность прессовых соединений выше при шлифовании и развертывании сопряженных поверхностей, чем при их точении и растачивании. При посадке с тепловым воздействием микронеровности не сдвигаются. Прочность таких соединений выше, чем при обычной запрессовке с тем же натягом.

При обработке заготовок резанием на их поверхности возникают микронеровности. Шероховатость, измеренная в направлении движения подачи (поперечная шероховатость), обычно больше шероховатости, измеренной в направлении главного движения режущего инструмента (продольная шероховатость). На шероховатость обработанной поверхности влияет множество факторов.

1) Прежде всего она зависит от метода обработки. Каждому методу обработки свойствен определенный диапазон высоты микронеровностей, форма и схема расположения штрихов от режущего инструмента на обрабатываемой поверхности, определяемые кинематикой движения инструмента относительно заготовки (параллельные, кругообразные, пересекающиеся, по спирали).

2) Режимы резания влияют на шероховатость поверхности.

При скорости резания 20 – 25 м/мин высота микронеровностей достигает наибольшего значения. При дальнейшем увеличении скорости резания, при прочих неизменных условиях, шероховатость поверхностей постепенно уменьшается (рисунок 1.94). Зона увеличенной шероховатости связана с образованием нароста на режущей кромке инструмента. С увеличением скорости резания наростообразование прекращается и шероховатость уменьшается. На шероховатость поверхности влияют захват и отрыв слоев,

расположенных под режущей кромкой инструмента (при обработке стальных заготовок) и явления хрупкого выламывания частиц материала (при обработке заготовок из серого чугуна и твердых цветных сплавов). При высоких скоростях резания стружка отделяется режущим инструментом более плавно без вырывания частиц металла.

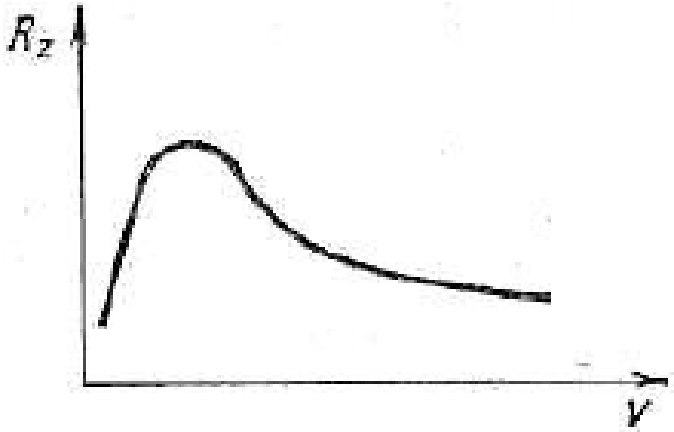


Рис. 1.94. Влияние скорости резания на шероховатость обработанной поверхности.

Подача по-разному влияет на шероховатость поверхности при разных методах обработки. При точении стандартными проходными резцами с углом в плане 45° и малым радиусом закругления вершины (до 2 мм) подача заметно влияет на шероховатость (кривая 1) рисунок 1.95. При точении резцами с широкой режущей кромкой (кривая 2) шероховатость поверхности не зависит от подачи, что позволяет повысить производительность отделочных операций. При сверлении и зенкеровании отверстий, торцовом и цилиндрическом фрезеровании и других методах обработки (кривая 3) подача незначительно влияет на шероховатость поверхности.

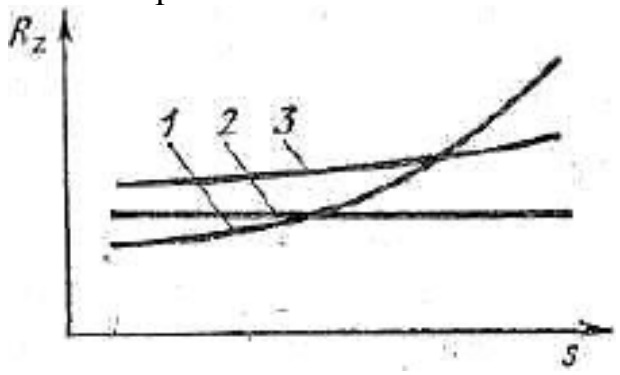


Рис. 1.95. Влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности.

Глубина резания не оказывает заметного влияния на шероховатость поверхности, если жесткость технологической системы достаточно велика. В некоторых случаях (при снятии корки или удалении наклепанного слоя) увеличение глубины резания уменьшает шероховатость поверхности, так как инструмент работает по основному металлу.

3) Форма режущей кромки инструмента также влияет на шероховатость поверхности. Однако образование микронеровностей нельзя объяснить только

следом движения режущей кромки в материале заготовки. Фактическая шероховатость, особенно при чистовой и тонкой обработке, получается больше расчетной, найденной из геометрических соотношений.

Микронеровности образуются также вследствие трения задней поверхности инструмента по обрабатываемой поверхности, которое возрастает по мере износа режущего инструмента. Уменьшение неровностей и зазубрин на режущей кромке путем ее доводки способствует получению более гладкой обработанной поверхности. Это особенно заметно при чистовой обработке развертками, протяжками, широкими резцами.

4) На шероховатость поверхности влияют механические свойства, химический состав и структура материала заготовок. При обработке заготовок из мягкой низкоуглеродистой стали получается более шероховатая поверхность, чем при обработке заготовок из твердой стали с большим содержанием углерода. Заготовки из стали с повышенным содержанием серы (автоматные стали) и из стали с присадкой свинца после обработки имеют менее шероховатую поверхность, чем заготовки из углеродистой стали. Заготовки из сталей с мелкозернистой структурой обрабатываются лучше заготовок из сталей с крупнозернистой структурой. Заготовки из стали со структурой пластинчатого перлита обрабатываются хуже заготовок из сталей с глобулярным перлитом.

5) Соответствующим выбором смазочно-охлаждающей жидкости можно уменьшить шероховатость и повысить стойкость инструмента. При применении минеральных осененных и растительных масел высота микронеровностей уменьшается на 25 – 40% по сравнению с обработкой без охлаждения. Шероховатость поверхности при шлифовании можно уменьшить тщательной фильтрацией охлаждающей жидкости от частиц абразива.

6) На шероховатость поверхности влияет жесткость технологической системы. Различная жесткость в сечениях заготовки, обусловленная условиями ее закрепления, вызывает появление неодинаковой шероховатости обработанной поверхности. При консольном закреплении вала шероховатость поверхности повышается на свободном конце вала; при обработке вала в центрах с вращающимся задним центром шероховатость поверхности повышается у заднего центра при длине вала L до 15d, а при большей длине вала повышается от заднего центра к середине его длины и затем уменьшается по мере приближения к переднему центру. Неоднородность шероховатости поверхности, определяемая отношением Rzmax/Rzmin, может достигать 2—3.

7) Вибрации элементов технологической системы периодически изменяют положение режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности, создавая на ней выступы и впадины. На процесс вибрации влияют жесткость системы, зазоры в ее звеньях, неуравновешенность вращающихся частей и дефекты приводов станка.

В зависимости от частоты и амплитуды колебаний изменяются форма и размеры неровностей. При относительно невысокой частоте и большой амплитуде колебаний на обрабатываемой поверхности образуется волнистость; на отдельных участках поверхности она изменяется в зависимости от жесткости

технологической системы в различных сечениях обрабатываемой заготовки. Вибрации технологической системы являются основной причиной появления волнистости. Волнистость может возникать в результате копирования неровностей заготовки, а также от действия остаточных напряжений в нежестких заготовках.

8) Квалификация рабочего. Зная влияние технологических факторов на шероховатость поверхности, можно назначить условия обработки, обеспечивающие достижение заданной шероховатости поверхности.

Качество поверхности деталей машин зависит в основном от метода и режимов проведения отделочной обработки. При определенных условиях поверхностный слой может быть упрочнен, а иногда ослаблен; поэтому путем технологического воздействия необходимо в поверхностном слое создавать такие механические свойства и остаточные напряжения, которые в наибольшей степени соответствуют условиям длительной и надежной эксплуатации. Целенаправленное формирование поверхностного слоя с заданными свойствами в процессе изготовления детали является одной из важнейших задач технологии машиностроения.

Качество поверхностного слоя может быть повышено в результате применения как обычных методов при определенных режимах, так и специальных (упрочняющих) методов обработки. Поверхностные слои деталей машин формируются в основном на окончательных операциях механической обработки. На формирование этих слоев влияют операции предшествующей обработки, и даже заготовительные процессы. При положительном влиянии припуски на чистовую и отделочную обработку, а также последовательность выполнения операций устанавливают так, чтобы сохранить у детали, полученные ею в силу технологической наследственности положительные качества (наклеп поверхностного слоя, остаточные напряжения, высокую поверхностную твердость, отбеленную корку у отливок и пр.). Остаточные напряжения растяжения в поверхностном слое вынуждают увеличивать припуск на последующую отделочную обработку. Наиболее важно получить высокое качество поверхностного слоя после шлифования и тонкого точения.

1.7. Технологичность конструкции деталей и изделий

Прежде всего следует выяснить назначение детали в узле машины и определить степень ее важности для эксплуатации машины. Затем провести подробный анализ технических требований к детали. При необходимости для решения возникающих задач привлекают методы теории размерных цепей. Результатами этого анализа должна быть формулировка основных технологических задач, которые необходимо решать при обработке детали, и корректировка чертежа детали.

Основные технологические задачи включают получение:

– точности размеров: диаметральных, линейных, угловых;
– точности формы: для цилиндрических деталей в продольном и поперечном сечениях (отклонения профиля продольного сечения; отклонения от круглости

и цилиндричности), для плоскостных деталей (отклонения от плоскостности и прямолинейности);

– точности взаимного расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей);
– качества поверхностного слоя обработанных поверхностей:
  - высота микронеровностей профиля (*Rz, Ra, tp*)
  - твердость ($HRC_Э$, HB);
  - численное значение, знак и глубина распространения внутренних остаточных напряжений.

Кроме того, на чертежах могут быть указаны и специальные технические требования: покрытия, термическая обработка, окраска, подгонка массы и т. п.

По всем группам технологических задач необходимо подробно изучить технические требования на изготовление с перечислением наиболее ответственных.

По результатам анализа формулируются основные технологические задачи, определяющие структуру технологического процесса, средства технологического оснащения, квалификацию исполнителя, контрольные операции и др.

При технологическом контроле чертежей проверяют, содержит ли чертеж все сведения о детали: необходимые проекции, разрезы и сечения, размеры с допусками, требования к точности формы и взаимного расположения, требования к качеству поверхности.

Отработку конструкции детали на технологичность проводят в соответствии с общими правилами, установленными ГОСТ 14.201–83.

Анализ технологичности конструкции изделия направлен на повышение производительности труда, снижения затрат и сокращение времени на технологическую подготовку производства (ТПП). Конструкция изделия может быть

признана технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление детали и удовлетворяет следующим требованиям:

– конфигурация деталей и их материал позволяют применять наиболее прогрессивные заготовки, сокращающие объем механической обработки;
– при конструировании изделий используются простые геометрические формы, позволяющие применять высокопроизводительные методы производства.
– Предусмотрена удобная и надежная технологическая база в процессе обработки;
– обоснованы заданные требования к точности размеров и формы детали;
– использована стандартизация и унификация деталей и их элементов;
– для уменьшения объема механической обработки предусмотрены допуски только по размерам посадочных поверхностей;
– обеспечена достаточная жесткость детали;
– предусмотрена возможность удобного подвода жесткого и высокопроизводительного инструмента к зоне обработки детали;
– обеспечен свободный вход и выход инструмента из зоны обработки;

– учтена возможность одновременной установки нескольких деталей.

Конструкция изделия в значительной степени определяет содержание технологического процесса, его построение (маршрут), структуру операций, применяемые методы обработки, оборудования, оснастку и инструменты.

1.7.1. Общие требования к технологичности формы детали

1. Конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом.
2. Детали должны изготовляться из стандартных или унифицированных заготовок. Формы заготовки должны приближаться к форме и размерам готовой детали.
3. Заготовки должны быть получены рациональным способом и возможность использования в конструкции детали необрабатываемых поверхностей и минимальных припусков на обработку.
4. Размеры и поверхности детали должны иметь соответственно оптимальные и обоснованные точность и шероховатость поверхностей. Оптимальными считаются точность и шероховатость поверхности экономически и конструктивно обоснованные.
5. Базовые поверхности детали должны иметь точность и шероховатость, обеспечивающие надежность и точность установки, обработки и контроля.
6. Возможность одновременной обработки нескольких деталей.
7. Конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых, стандартных и групповых технологических процессов.
8. Свойства материала детали: физико-химические, механические, жесткость детали, ее форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления (включая процессы упрочения, коррозийной защиты и пр.), хранения и транспортирования.
9. Не использовать материалы, плохо обрабатываемые резанием.
10. Доступность по всем обрабатываемым поверхностям для обработки и измерения.
11. Протяженность обрабатываемых поверхностей должна быть наименьшей.
12. Поверхности отверстий также должны соответствовать по форме стандартному инструменту, например, глухие отверстия следует проектировать с коническим дном, образуемым режущей кромкой сверла (угол затоки сверла $2\varphi = 118 – 120^{o}$). Отверстия должны соответствовать по размерам стандартным сверлам (ГОСТ 886–77), не следует предусматривать сквозные отверстия с отношением длины к диаметру более 10 ($l/d > 10$), т. к. требуются специальные сверла.
13. Глубина глухих отверстий не должна превышать шести диаметров; для глухих отверстий, подвергаемых чистовой обработке следует указать ее длину, т. к. по всей длине трудно достичь равномерные параметры шероховатости поверхности.

14. Глубина резьбы в глухих отверстиях должна быть согласована с размерами рабочей части метчика, не рекомендуется назначать резьбы длиной более 3-х диаметров, т. к. при этом затрудняется свинчиваемость деталей.

15. Конструкции деталей должны обеспечивать минимальную деформацию при термообработке.

16. Детали, обрабатываемые на станках токарной группы должны иметь максимальное число поверхностей вращения и минимальное число изменений диаметра сечения.

17. Детали, обрабатываемые на протяжных станках, должны иметь равномерную жесткость по длине и достаточную прочность.

18. При обработке на станках с ЧПУ к конструкции обрабатываемых деталей предъявляют менее жесткие требования (например, сложные, фасонные, контурные и объемные поверхности можно получить без особых трудностей).

1.7.2. Технологичность валов

Конструктивные особенности. В механизмах транспортных и технологических машин, колесных и гусеничных машинах применяют валы различной конструктивной формы: бесступенчатые (гладкие), ступенчатые с прямой геометрической осью, коленчатые, эксцентриковые (кулачковые), кривошипы, поворотные кулаки и др.

Наибольшее распространение в этих машинах (60 – 70 % общего количества) получили ступенчатые валы средних размеров (диаметром 25…125 мм, длиной до 250 мм) – шлицевые с глухим или сквозным центральным отверстием. Шлицевые валы изготавливают в основном с закрытыми шлицами прямобочного или эвольвентного профиля.

Несмотря на разнообразие форм и размеров валов необходимо, по возможности, учитывать следующие требования, обуславливающие их технологичность.

1. Достаточная жесткость. Конструкция вала считается жесткой при отношении длины к диаметру (*l/d)* не более 10…12. В противном случае токарная обработка вала требует применения дополнительных опор – люнетов, что увеличивает трудоемкость. В зависимости от отношения длины к диаметру валы закрепляются при обработке в патроне ($l:d > 5$), в центрах ($l:d > 10$) или в центрах с люнетом ($l/d > 10...12$).

2. Наличие постоянных технологических баз (центровые отверстия). Это позволяет повысить точность и сократить трудоемкость обработки соосных ступенчатых поверхностей. Форма и размеры центровых отверстий должны соответствовать ГОСТ 14034–74 (табл. 2).

3. Предусматривать стандартные канавки для выхода шлифовального круга. Форма и размеры канавок должны соответствовать ГОСТ 8820–69 (табл. 3).

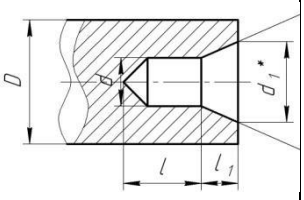
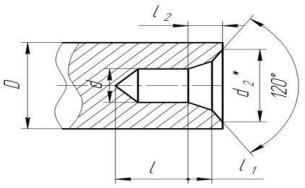
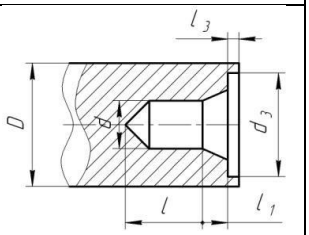
4. Для сокращения числа типоразмеров канавочных резцов канавки выполнять, по возможности, одинаковыми.

5. Ступени должны быть с минимальными перепадами диаметров, убывающие или возрастающие. Желательна симметричность.

6. Ступени по возможности должны иметь одинаковую или кратную длину для обеспечения возможности многоинструментальной обработки. Конические переходы между ступенями вала и фаски следует назначать под обработку с учетом стандартных токарных проходных резцов с главным углом в плане равным 30, 45, 60 и 90°. При больших перепадах применять высадку головок или составные конструкции для уменьшения объема обработки резанием и расхода металла.

7. У гладких длинных валов вместо ступени при необходимости упорных уступов, буртов устанавливать разжимные пружинные кольца. В этом случае бурт заменяется канавкой.

Таблица 19. Формы и размеры центровых отверстий (из ГОСТ 14034–74)

Форма А	Форма В	Форма Т
		
1. В изделиях после обработки которых необходимость в центровых отверстиях отпадает. 2. В изделиях, которые подвергаются термообработке до твердости, гарантирующей сохранность центровых отверстий при эксплуатации.	В изделиях, в которых центровые отверстия являются базой для повторного и многократного использования, а также в случаях, когда центровые отверстия сохраняться в готовых изделиях.	Для оправок и калибр-пробок

Размеры центровых отверстий, мм

D	d	d_1	d_2	l, не менее	l_1	l_2
до 6	1,6	3,35	5,0	2,0	1,52	1,9
6 - 10	2,0	4,25	6,3	2,5	1,95	2,54
10 - 14	2,5	5,30	8,0	3,1	2,42	3,20
14 - 20	3,15	6,70	10,0	3,9	3,07	4,03
20 - 30	4,0	8,50	12,5	5,0	3,90	5,06
30 - 40	5,0	10,60	16,0	6,3	4,85	6,41
40 - 60	6,3	13,20	18,0	8,0	5,98	7,36
60 - 80	8,0	17,00	22,4	10,1	7,79	9,35
80 - 100	10,0	21,20	28,0	12,8	9,70	11,66
100 - 120	12,0	25,40	33,0	14,6	11,60	13,80
120 - 160	16,0	33,90	42,5	19,2	15,50	18,00

Условное обозначение отверстия для вала Ø 30 мм (диаметр центровочного отверстия Ø 4 мм)		
Отв. 4 *А* ГОСТ 14034–74	Отв. 4 *В* ГОСТ 14034–74	Отв. 4 *Т* ГОСТ 14034–74

8. У длинных нежестких валов предусматривать резьбовое отверстие для обеспечения транспортировки, термообработки и хранения в подвешенном состоянии.
9. Крупные валы необходимо выполнять полыми.
10. Целесообразная простановка продольных размеров облегчает наладку станка и сокращает трудоемкость обработки.
11. Наличие радиусов закруглений между ступенями повышает стойкость инструмента.
12. Форма и размеры выхода внутренних и наружных резьб должны соответствовать ГОСТ 10549–80 (недорез резьбы ≈ 3*P*; сбег резьбы ≈ 2,5*P*; проточка канавки под выход инструмента ≈ 5*P*, где *P* – шаг резьбы).

1.8. Припуски на обработку

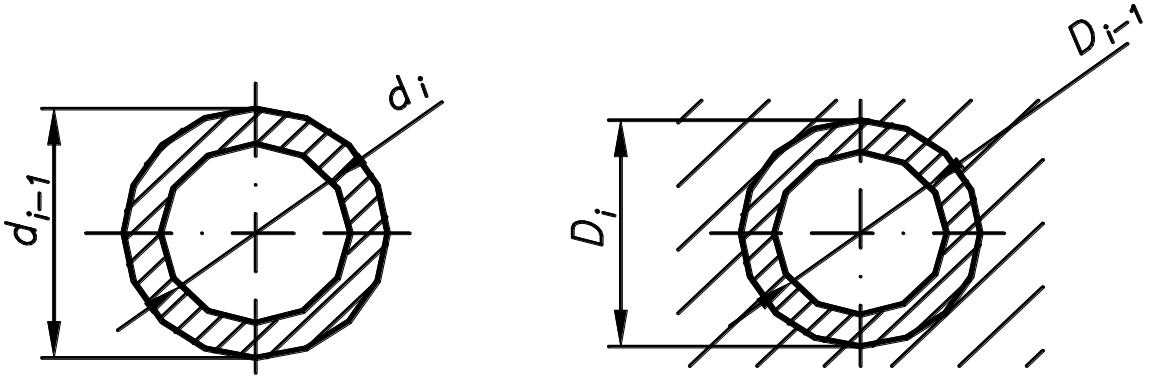
Припуском называют слой материала, удаляемый в процессе механической обработки заготовки для достижения требуемой точности и качества обрабатываемой поверхности.

Различают припуски промежуточные (z_i) и общие (z_0).

Промежуточный припуск (припуск на данную операцию или переход) – слой материала, который должен быть удален во время данной операции или перехода. Промежуточный припуск определяют, как разность размеров заготовки, полученных после предшествующего и выполняемого переходов. При обозначении припусков используются следующие индексы: $(i-1)$ – индекс для предшествующего перехода; i – индекс для выполняемого перехода.

Промежуточные припуски для наружных и внутренних поверхностей (рис. 1.84) рассчитываются по следующим формулам:

$$z_i = d_{i-1} - d_i, \qquad z_i = D_i - D_{i-1}.$$



а) б)

Рис. 1.84. Схема расположения припусков для наружной (а) и внутренней (б) поверхностей

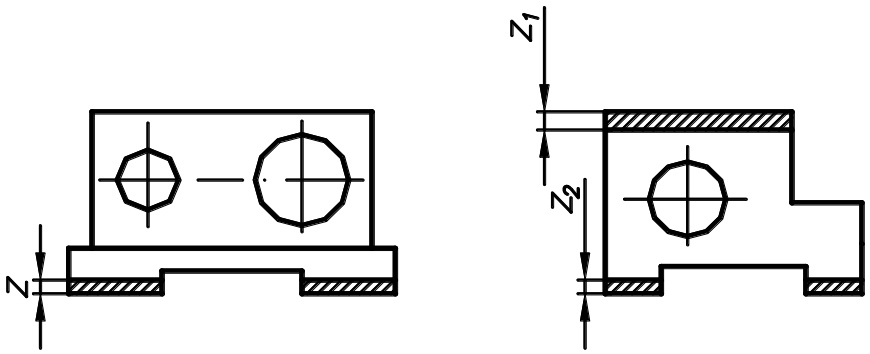
Односторонний припуск – слой материала, удаляемый с какой-либо стороны заготовки (рис. 1.84, а), двусторонний – с двух сторон или образующих (рис. 1.84, б).

Припуски бывают симметричные и несимметричные. У симметричного припуска его слагаемые с каждой из сторон или образующих равны, у несимметричной этой величины разные (рис.1.84, б). Припуски измеряются по нормали к обработанной поверхности.

Операционные размеры выполняются с определенной точностью, поэтому фактическая величина припуска колеблется в определенных пределах. В связи с этим различают номинальный $z_{ном}$, минимальный $z_{\min}$ и максимальный $z_{\max}$ припуски (рис.1.85). Номинальные припуски необходимы для определения номинальных размеров заготовок (проката, штамповок, отливок), по которым изготавливают технологическую оснастку (штампы, модели, формы). При известном минимальном припуске величина номинального припуска определяется по формуле:

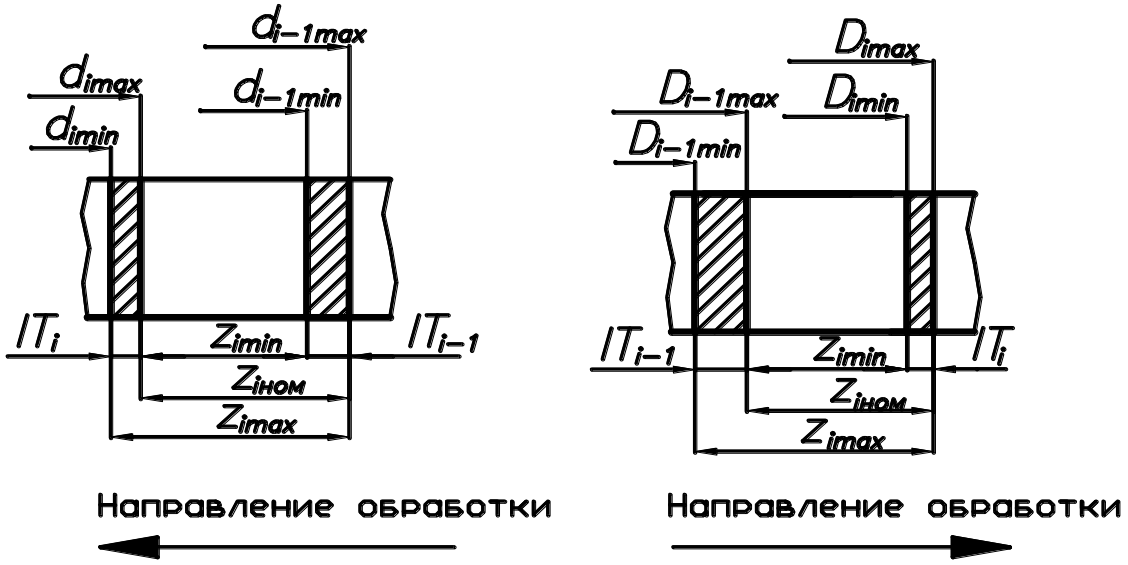
$$z_{i\,ном} = z_{i\min} + IT_{i-1},$$

где IT_{i-1} – допуск на технологический размер, установленный на предшествующем переходе.



а) б)

Рис. 1.85. Схема расположения одностороннего (а) и двустороннего (б) припусков.



а) б)

Рис. 1.86. Схема расположения полей минимального, номинального и максимального операционных припусков при обработке наружных (а) и внутренних (б) поверхностей

По максимальному припуску назначают глубину резания $t = z_{\max}$, которая используется при выборе мощности привода станка. Величина максимального припуска определяется из выражения:

$$z_{i\max} = z_{i\,ном} + IT_i ,$$

где IT_i – допуск на технологический размер, установленный для выполняемого перехода.

Общий припуск – слой материала, удаляемый при выполнении всех технологических операций, он равен сумме промежуточных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки данной поверхности (рис. 1.86):

$$z_0 = \sum_{i=1}^{n} z_i ,$$

где n – число операций в технологическом маршруте.

Общий припуск определяют как разность размеров заготовки d_0 и готовой детали $d_{дет}$:

$$z_0 = d_0 - d_{дет} .$$

На некоторых участках заготовки кроме припуска имеется технологический напуск. *Технологический напуск* – это дополнительный слой материала, также удаляемый при механической обработке, но предназначенный для осуществления технологического процесса изготовления заготовки. Напуск назначается на участки заготовки, которые из-за несовершенства принятого способа получения заготовок невозможно

выполнить лишь с одним номинальным припуском. К напускам относятся штамповочные и литейные уклоны, непрошиваемые и непроливаемые отверстия в поковках и отливках, дополнительные слои металла, назначаемые для упрощения конструкции заготовок.

Выбор общих и операционных припусков и допусков имеет большое технико-экономическое значение.

Чрезмерно большие припуски снижают экономическую эффективность процесса за счет потерь металла, переводимого в стружку. Удаление лишних слоев металла требует введения дополнительных технологических переходов, увеличивает трудоемкость процессов обработки, расход энергии и режущего инструмента, повышает себестоимость обработки. При увеличенных припусках в некоторых случаях удаляют наиболее износостойкий поверхностный слой обрабатываемой детали.

Чрезмерно малые припуски также нежелательны. Они не обеспечивают удаление дефектных поверхностных слоев и получение требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей, а в некоторых случаях создают неприемлемые условия для работы режущего инструмента по литейной корке или окалине. Чрезмерно малые припуски требуют повышения точности заготовок, затрудняют их разметку и выверку на станках и, в конечном счете, увеличивают вероятный процент брака.

Правильно выбранный припуск обеспечивает:

1) устойчивую работу оборудования при достижении высокого качества продукции;

2) минимальную себестоимость продукции.

В машиностроении и приборостроении применяют два метода определения припуска:

1) опытно-статистический;

2) расчетно-аналитический.

При использовании опытно-статистического метода общие и промежуточные припуски назначаются по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации, произведенных данных передовых заводов.

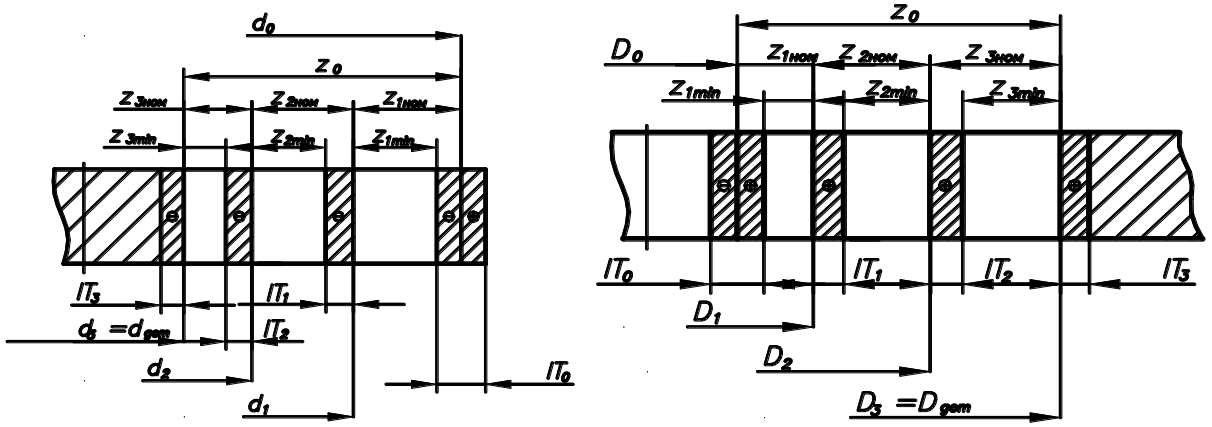
Недостатком этого метода является назначение припусков без учета конкретных условий построения технологических процессов, и поэтому создаются ненужные повышенные запасы надежности в предположении наихудших условий для каждой из обрабатываемых поверхностей. Поэтому опытно-статистические припуски необоснованно завышены.

Расчетно-аналитический метод определения припусков разработан профессором Кованом В. М. Согласно этому методу, промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе.

В соответствии с этим методом минимальный промежуточный припуск $Z_{i\min}$ рассчитывается по формуле (рис. 1.115):

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + (\overline{\rho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i),$$

где Rz_{i-1} – высота неровностей, полученная на смежном предшествующем переходе обработки данной поверхности; T_{i-1} – глубина поверхностного слоя, отличного от основного, полученного на предшествующем технологическом переходе; $\overline{\rho}_{i-1}$ – пространственные отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки; $\overline{\varepsilon}_i$ – погрешность установки, возникающая на выполняемом переходе.



а) б)

Рис. 1.86. Общая схема расположения припусков и допусков при многооперационной обработке наружных (а) и внутренних (б) поверхностей:

IT_1, IT_2, IT_3 и $z_{1ном}$, $z_{2ном}$, $z_{3ном}$ и $z_{1\min}$, $z_{2\min}$, $z_{3\min}$ – соответственно допуски, номинальные и минимальные припуски на черновую, чистовую и отделочную обработку;

IT_0 – допуск на заготовку;

d_2, d_3, D_1, D_2, D_3 – операционные размеры

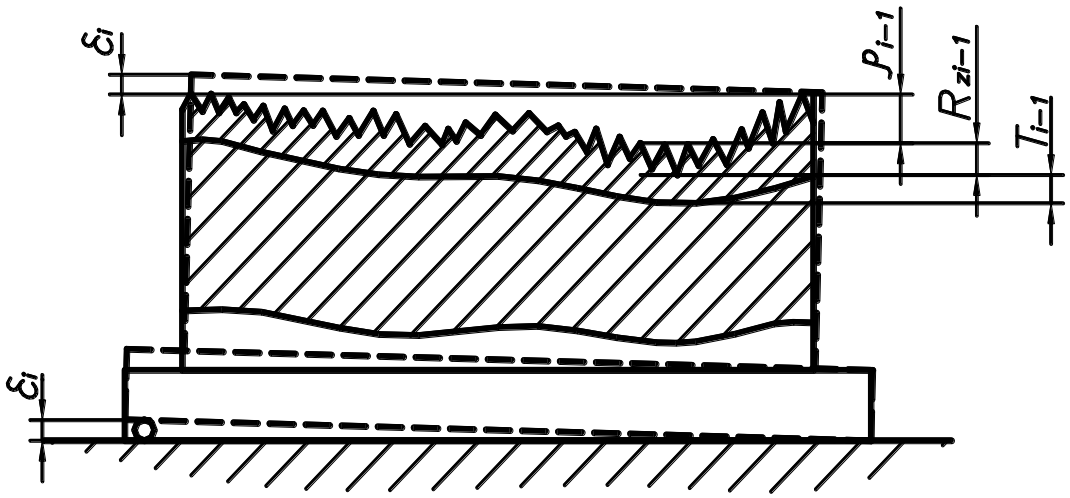


Рис. 1.87. Схема для определения минимального припуска

Рассмотрим влияние особенностей технологического процесса и служебного назначения детали на назначение перечисленных параметров.

Например, у отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки (механическая смесь феррита и цементита), наружная зона которого нередко имеет следы формовочного песка. Этот слой должен быть полностью удален на первом переходе для нормальной работы инструмента.

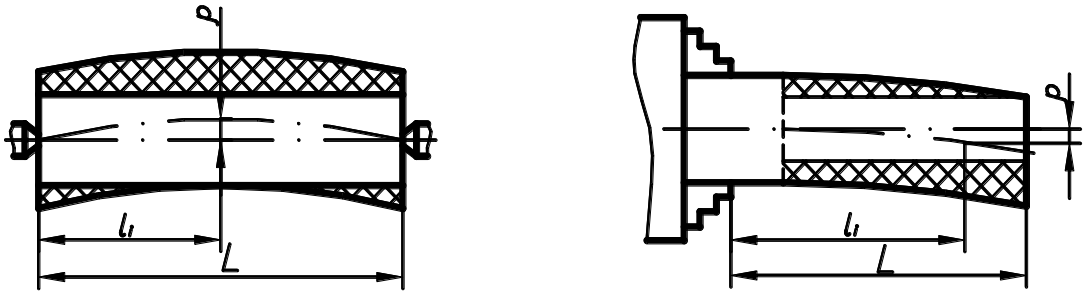
Некоторые детали отливают с отбеленным (меньше углерода в виде графита и больше в связанном состоянии в виде цементита) поверхностным слоем. При дальнейшей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости деталей.

У стальных поковок и штампованных заготовок поверхностный слой, характеризуемый наличием обезуглероженной зоны, должен быть полностью удален, так как он снижает предел выносливости детали.

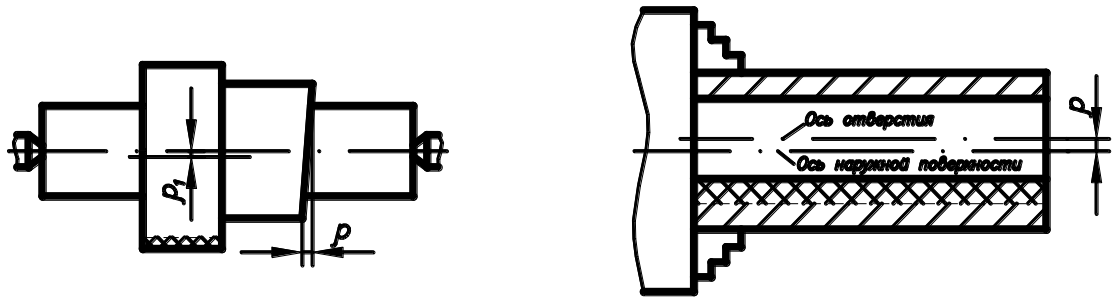
И, наконец, после поверхностной закалки поверхностный слой детали желательно сохранить в максимальной степени.

Примерами пространственных отклонений ρ_{i-1} поверхности после предшествующего перехода, не связанные с допуском на размер обрабатываемой поверхности, является отклонение от прямолинейности (изогнутость) оси заготовки (рис. 1.88, а, б), отклонение от соосности обтачиваемых ступеней по базовым шейкам или линии центровых отверстий ступенчатых валов (рис. 1.88, в), отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей вала его оси (рис. 1.88, в), отклонение от соосности наружной и внутренней поверхностей втулок (рис.1.88, г). У корпусных деталей имеет место отклонение от параллельности обрабатываемой и базовой плоскостей, при сверлении отверстий наблюдается смещение оси и одновременно увод оси отверстия. Суммарное значение нескольких пространственных отклонений $\rho_1, \rho_2, ..., \rho_n$, образовавшихся на предшествующем переходе, чаще определяют суммированием по правилу геометрического сложения:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + ... + \rho_n^2} .$$



а) б)



в) г)

Рис. 1.88. Пространственные отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки

Влияние пространственных отклонений на толщину слоя металла, снятого в виде припуска, зависит от принятой схемы базирования заготовки. При механической обработке заготовок типа дисков целесообразно, например, сначала расточить отверстие, используя в качестве базы наружную цилиндрическую поверхность, а затем, базируясь на отверстие, обточить наружную поверхность. При обратной последовательности обработки с наружной поверхности снимается значительно больший слой металла.

Остаточные пространственные отклонения на обработанных поверхностях, имевших исходные отклонения, являются следствием копирования погрешностей при обработке. Величины этих отклонений зависят как от режимов обработки, так и от параметров, характеризующих жесткость технологической системы и механических свойств обрабатываемого материала. Для определения промежуточных значений припусков на механическую обработку можно с достаточной для практических целей точностью пользоваться приведенной ниже формулой:

$$\rho_i = K_y \cdot \rho_{i-1} .$$

Значения коэффициента уточнения для различных методов обработки принимают следующими: однократное и черновое точение заготовок из горячекатаного проката и штампованных заготовок – 0,06; получистовая обработка заготовок из проката, штампованных заготовок, рассверливание отверстий, смещение оси отверстия после черновой обработки – 0,05; чистовое точение после черновой обработки – 0,04; предварительное шлифование – 0,03; двукратное обтачивание калиброванного проката, двукратное шлифование заготовок после токарной обработки – 0,02; зенкерование и предварительное развертывание отверстий – 0,005; чистовое развертывание отверстий – 0,002.

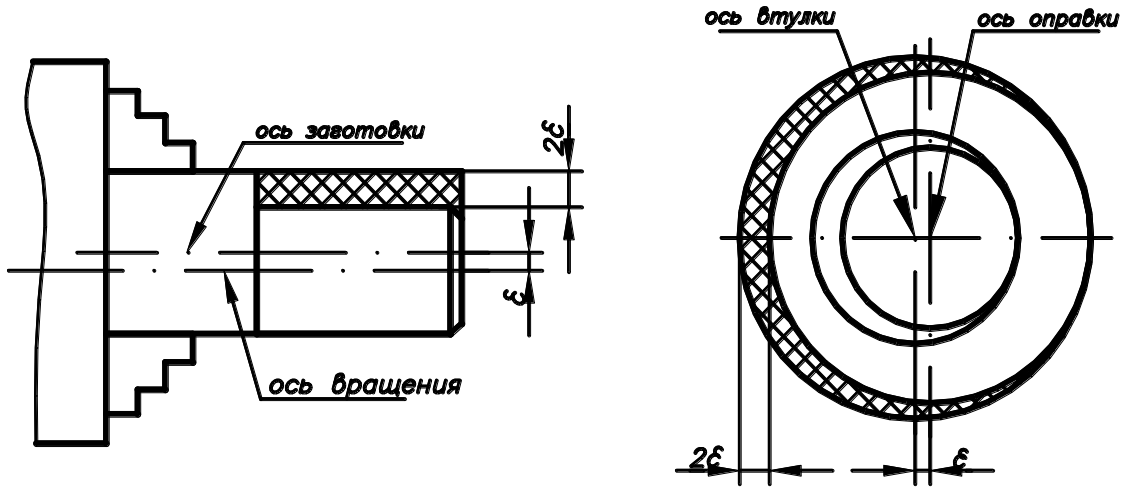
Из-за наличия погрешности установки, обрабатываемая поверхность занимает различное положение при обработке партии заготовок на предварительно настроенном станке. Погрешность установки ε_i на выполняемом переходе характеризуется величиной смещения обрабатываемой поверхности, которое должно компенсироваться дополнительной составляющей промежуточного припуска;

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{пр}^2} ,$$

где $\varepsilon_б$ – погрешность базирования; $\varepsilon_з$ – погрешность закрепления; $\varepsilon_{пр}$ – погрешность положения заготовки.

На рисунке 1.89 показаны примеры проявления погрешности установки, вызванные неточностью центрирования патрона (а) и погрешностью базирования втулки на оправке с зазором (б). Смещение оси заготовки на величину ε относительно оси вращения или оси оправки вызывает необходимость увеличения припуска на величину 2ε.

Погрешность положения заготовки $\varepsilon_{пр}$ является следствием неточности изготовления станочного приспособления и износа его установочных элементов, а также погрешности установки самого приспособления на станке. Сюда относится также погрешность индексации – поворота зажимных устройств при обработке заготовок на многопозиционных станках, которая в большинстве случаев принимается равной 0,05 мм. За исключением последней составляющей, элементы погрешности положения заготовки часто затруднительно выявить как самостоятельные значения, поэтому их учитывают входящими в погрешность закрепления.



а) б)

Рис. 1.89. Погрешность установки заготовки в патроне (а) и на оправке (б)

Погрешность закрепления $\varepsilon_з$ возникает в результате деформации поверхностей заготовки и приспособления от зажимной силы, а также в результате смещения заготовки в момент зажима. Эта погрешность зависит от вида зажимного устройства, размеров заготовки и вида предыдущей обработки базовой поверхности.

Погрешность базирования $\varepsilon_б$ представляет собой отклонение фактически достигнутого положения заготовки при базировании от требуемого. Она появляется, когда при базировании не совмещается

технологическая и измерительная базы. При совмещении технологической и измерительной баз $\varepsilon_б = 0$.

Погрешность установки $\varepsilon_i = 0$ при следующих условиях обработки:

– обработка в центрах (в радиальном направлении);

– бесцентровое шлифование;

– при базировании заготовки на магнитной плите и совпадении технологической и измерительной баз;

– при развертывании плавающей разверткой, протягивании отверстий, раскатке, обкатке, суперфинишировании и полировании.

При односторонней обработке (как показано на рис. 7.5) векторы $\overline{\rho}_{i-1}$ и $\overline{\varepsilon}_i$ коллинеарны (параллельны), следовательно, при несимметричной обработке плоскостей формула для расчета припуска имеет вид

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i .$$

При обработке наружных и внутренних тел вращения векторы $\overline{\rho}_{i-1}$ и $\overline{\varepsilon}_i$ могут принимать любое направление (любое угловое положение), предвидеть которое заранее не представляется возможным. Поэтому их сумма определяется как $(\overline{\rho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i) = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}$.

Следовательно, для тел вращения формула принимает вид:

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) .$$

Из общей формулы расчета могут быть получены частные формулы для конкретных случаев обработки.

1. При обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность ε_i может быть принята равной нулю:

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) .$$

2. При шлифовании заготовок после термообработки поверхностный слой необходимо по возможности сохранить, следовательно, слагаемые T_{i-1} нужно исключить из расчетной формулы:

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i ,$$

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

3. При развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещения и увод оси не устраняются, а погрешности установки в этом случае нет:

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1}) .$$

4. При суперфинишировании и полировании цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется лишь высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности, т. е.

$$2Z_{i\min} = 2Rz_{i-1} .$$

1.8.1. Выбор и расчет составляющих минимального припуска и методы их экспериментального определения

Расчетно-аналитический метод определения припусков базируется на анализе производственных погрешностей, возникающих при конкретных условиях обработки заготовки.

Величина минимального промежуточного припуска для поверхностей вращения определяется по формуле. Числовые значения *Rz* и *T* для сортового проката приведены в таблице; точность и качество поверхности после отрезки сортового проката ─ в таблице, после механической обработки заготовки из проката – в таблице, после обработки отверстий – таблице.

Таблица 21. Качество поверхности сортового проката, мкм

Диаметр проката, мм	Точность прокатки					
	высокая		повышенная		обычная	
	Rz	*T*	*Rz*	*T*	*Rz*	*T*
До 30	63	50	80	100	125	150
Свыше 30 до 80	100	75	125	150	160	250
Свыше 80 до 180	125	100	160	200	200	300
Свыше 180 до 250	200	200	250	300	320	400

Таблица 22. Точность и качество поверхности после отрезки сортового проката

Способ отрезки	Квалитет	*Rz*+*T*
На ножницах	17	300
Приводными ножовками, дисковыми фрезами на фрезерных станках	14	200
Отрезными резцами на токарных станках	13	200
Отрубка на прессах	17	*Rz*=150-300 *T*=1000-1600

При отрезке на ножницах и отрубке на прессах получается вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигающая *0,2D*(*D* — диаметр проката), и скос по торцу до 3° , которые необходимо учитывать при последующей обработке заготовок как по торцу, так и по диаметру.

Таблица 23. Точность и качество поверхности заготовок из проката после механической обработки

Способ обработки	Переход	Квалитет	*Rz*, мкм	*T*, мкм
Обработка наружных поверхностей				
Обтачивание резцами проката повышенной и обычной точности прокатки	Обдирка	14	125	120
	Черновое	12	63	60
	Чистовое и однократное	10–11	32–20	30
	Тонкое	7–9	6,3–3,2	–
Шлифование в центрах проката обычной точности прокатки	Черновое	8–9	10	20
	Чистовое и однократное	7–8	6,3	12
Обработка торцевых поверхностей				
Подрезание резцом на	Черновое	12	50	50

токарных станках	Чистовое	11	32	30
Шлифование на кругло- и торцешлифовальных станках	Однократное	6	5–10	–

Таблица 24. Качество поверхностей отверстий после обработки

Способ обработки	Диаметр отверстий, мм	Квалитет	*Rz*, мкм	*T*, мкм
Сверление спиральными сверлами	От 3 до 6	12	20	40
	Свыше 6 до 10		32	50
	Свыше 10 до18		40	60
	Свыше 18 до 50		50	70
	Свыше 50 до 80		63	80
Глубокое сверление специальными сверлами	От 3 до 10	12	16	25
	Свыше 10 до 18		20	30
	Свыше 18 до 30		32	40
	Свыше 30 до 50		50	50
Зенкерование				
Однократное	До 80	10	32	40
Черновое	От 18 до 30	11	40	40
	От 30 до 80	11	50	50
Чистовое	До 30	10	32	30
	Свыше 30 до 50	10	40	40
Растачивание				
Черновое	От 50 до 260	12	40	50
Чистовое		10	20	20
Развертывание				
Нормальное	От 6 до 30	10	10	20
Точное		8	5	10
Тонкое		7	3,2	5
Отделочные методы				
Шлифование	До 80	7–9	5	10
Протягивание	От 10 до 80	8	4	6
Калибрование шариком	От 6 до 80	7	0,63	–
Хонингование	До 80	6–7	0,16	–

Экспериментально шероховатость *Rz* поверхности заготовки определяется приборами для измерения шероховатости – профилометрами и профилографами. Глубина дефектного слоя *T* может быть установлена с помощью измерения его микротвердости – в дефектном слое микротвердость непостоянна. Для этого используется метод косых срезов (рис. 1.90), при применении которого под небольшим углом α к поверхности шлифуется плоскость и устанавливается расстояние от края шлифа *l*, на котором микротвердость дальше не изменяется. Полученное расстояние и известный угол наклона шлифа используются для расчета величины дефектного слоя *T*.

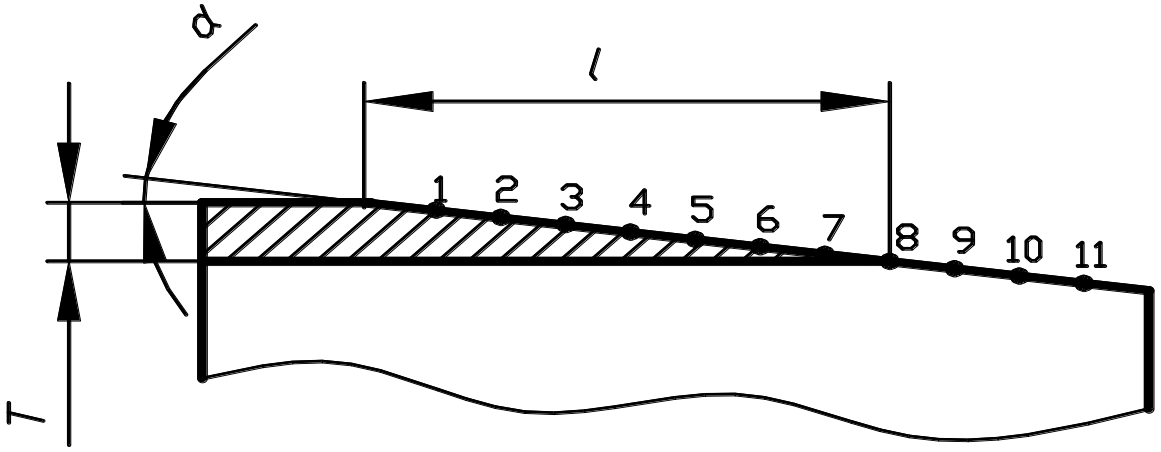


Рис.1.90. Схема определения глубины дефектного слоя

Суммарное значение пространственных отклонений поверхности, подлежащей обработке, зависит от способа базирования и определяется по формуле:

$$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_ц^2} \ ,$$

где ρ_k – отклонение оси заготовки от прямолинейности, мкм; $\rho_ц$ – смещение оси заготовки при центровании, мкм.

Отклонение оси от прямолинейности (кривизна) для любого сечения заготовки определяется по формулам:

при установке заготовок в центрах:

$$\rho_к = \Delta_к \cdot l_i \ ,$$

где $\Delta_к$ – удельная кривизна заготовок из проката, мкм/мм; l_i –расстояние рассматриваемого сечения заготовки до ее ближайшего торца, мм; $l_i \le 0{,}5L$ (L– общая длина заготовки);

Таблица 25. Удельная кривизна заготовок $\Delta_к$, мкм на 1 мм длины

Метод получения поверхности	Диаметр или толщина детали, мм				
	До 30	30–50	50–80	80–120	120-180
Прокат горячекатаный без правки	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0
Прокат горячекатаный после правки	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
Прокат калиброванный без правки	2	1,3	0,9	0,6	0,5
Метод получения поверхности	Диаметр или толщина детали, мм				
	18-30	30–50	50–80	80–120	120–180
Прокат калиброванный после правки	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08

при консольном закреплении заготовки в патроне или в цанге:

$$\rho_к = 2\Delta_к \cdot l_i \ ,$$

где l_i – расстояние до места ее крепления в патроне или в цанге; $l_i \leq L$ (L–длина консольной части заготовки).

Таблица 26. Горячекатаный прокат по ГОСТ 2590-88, мм

Диаметр	Допускаемые отклонения		Допуск
	+	–	
Сталь горячекатаная повышенной точности (Б)			
5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19	0,1	0,5	0,6
20; 21; 22; 23; 24; 25	0,2	0,5	0,7
26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48	0,2	0,7	0,9
50; 52; 53; 54; 55; 56; 58	0,2	1,0	1,2
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78	0,3	1,1	1,4
80; 82; 85; 87; 90; 92; 95;97	0,3	1,3	1,6
100; 105; 110; 115	0,4	1,7	2,1
120; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 155	0,6	2,0	2,6
Сталь горячекатаная круглая обычной точности (В)			
5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 15; 16; 17; 18; 19	0,3	0,5	0,8
20; 21; 22; 23; 24; 25	0,4	0,5	0,9
26; 27; 28; 29; 30	0,3	0,7	1,0
31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48	0,4	0,7	1,1
50; 52; 54; 55; 56; 58	0,4	1,0	1,4
60; 62; 65; 68; 70; 72; 75; 78	0,5	1,1	1,6
80; 82;85; 87; 90; 92; 95; 97	0,5	1,3	1,8
100; 105; 110; 115	0,6	1,7	2,3
120; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 155	0,8	2,0	2,8

Смещение оси наружной обрабатываемой поверхности относительно оси центровых отверстий с учетом погрешности настройки центровальных станков определяют по следующей формуле

$$\rho_ц = 0{,}25\sqrt{(IT)^2 + 1},$$

где IT – допуск на диаметральный размер базы заготовки, используемой при центровании.

Суммарные пространственные отклонения заготовки могут быть измерены непосредственно на станке с использованием стойки с индикатором часового типа либо при базировании заготовки в центрах прибором для проверки изделий на биение.

Погрешность установки круглого проката зависит от способа базирования и точности базовых поверхностей. При установке заготовки в жестких центрах погрешность установки в радиальном направлении ε = 0. Погрешность закрепления, получающаяся при установке в плавающий передний и вращающийся задний центры, не учитывается, так как перекрывается

отклонением заготовки под действием силы резания. В осевом направлении отсутствует погрешность закрепления, но имеет место погрешность базирования, вызванная погрешностью глубины центрового отверстия (просадка центра). При угле центра 2α=60° погрешность глубины центрового отверстия находится в пределах 0,11-0,25 мм.

При закреплении заготовки в трехкулачковом самоцентрирующем патроне погрешность базирования $\varepsilon_б = 0$. Значение погрешности закрепления $\varepsilon_з$ для горячекатаного прутка и обработанных заготовок приведены в таблице.

Таблица 27. Погрешность закрепления $\varepsilon_з$ заготовок в трехкулачковом патроне, мкм

Вид заготовки	Направление смещения заготовки	Диаметр заготовки, мм						
		Св.6 до 10	Св.10 до 18	Св.18 до 30	Св.30 до 50	Св.50 до 80	Св.80 до 120	Св.120 до 180
Горячекатаная	Радиальное	220	270	320	370	420	500	600
	Осевое	70	30	90	100	110	120	130
Предварительно обработанная	Радиальное	50	60	70	80	100	120	140
	Осевое	50	60	70	80	90	100	110
Чисто обработанная	Радиальное	25	30	35	40	50	60	70
	Осевое	30	40	50	60	70	80	90

Погрешность закрепления может быть измерена непосредственно на применяемом приспособлении. Для этого заготовка устанавливается в приспособлении и предварительно зажимается с небольшим усилием. К обрабатываемым поверхностям подводятся индикаторы, и затем деталь в приспособлении полностью зажимается. Индикаторы фиксируют смещение заготовки в двух плоскостях.

1.8.2. Методика расчета припусков и операционных размеров

Расчет припусков производят после выбора метода получения заготовки, технологического маршрута ее обработки и схемы установок на каждой операции, обеспечивающих заданную точность и шероховатость поверхности. Расчет производится с заполнением специальной таблицы, данные которой используются для построения графической схемы расположения промежуточных припусков и допусков на разных стадиях обработки (рис. 1.91).

Операционные размеры на каждой технологической операции или переходе рассчитывают, начиная от размеров готовой детали. Значения предельных межоперационных размеров зависит от выбора начала отсчета. Если за начало отсчета выбрать наибольший диаметр d_3 из допустимых размеров готового вала (рис.1.91, а), то операционный размер d_2 для второго перехода определится по формуле:

$$d_2 = d_3 + z_{3ном}\,.$$

Номинальный припуск на третьем переходе $z_{3ном}$ определяют следующим образом:

$$z_{3ном} = z_{3\min} + IT_2,$$

где $z_{3\min}$ – минимальный припуск на третьем переходе; IT_2 – допуск на операционный размер на втором переходе.

В общем виде номинальные операционные размеры валов для предшествующего перехода рассчитывают по формуле:

$$d_{i-1} = d_i + z_{iном},$$

где d_i – диаметр вала, мм; $z_{iном}$ -- номинальный припуск для рассматриваемого перехода или выполняемой операции, мм.

Аналогично для отверстий (рис. 191, б). При начале отсчета, за которое принят наименьший допустимый диаметр готового отверстия, номинальные операционные размеры для предшествующей операции определяют по формуле:

$$D_{i-1} = D_i - z_{iном},$$

где D_i – диаметр отверстия, мм; $z_{iном}$ -- номинальный припуск на данном переходе, мм.

При использовании расчетно-аналитического метода расчет припусков на обработку выполняют в следующей последовательности.

1. В графы 1 и 2 таблицы 1.15.8 записывают номера переходов и маршрут обработки поверхности.

2. Для каждого технологического перехода и заготовки определяют значение составляющих минимального припуска: $Rz_i, T_i, \rho_i, \varepsilon_i$ и допуск IT_i, обеспечиваемые этими переходами. Полученные значения записывают в графы 3-6 и 8. Для заготовки не заполняют графу 6, а в графу 8 заносят верхнее и нижнее предельные отклонения проката. Для последнего технологического перехода определяют только значение ε_i. Допуски на выполняемый размер обрабатываемой поверхности определяют в зависимости от экономической точности выбранного метода обработки.

Таблица 26. Значения допусков IT для размеров до 500 мм, мкм

Раз-мер, мм	Квалитет												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
3-6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
6-10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
10-18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
18-30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
30-50	11	16	23	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500

50-80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80-120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120-180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180-250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250-315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315-400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400-500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

3. Рассчитывают величины минимальных припусков на обработку $z_{i\min}$ по всем технологическим переходам суммированием значений Rz_{i-1}, T_{i-1}, ρ_{i-1}, полученных на предшествующем переходе, и значений ε_i, полученных на выполняемом переходе. Полученное значение $z_{i\min}$ записывают в графу 7 в строке выполняемого перехода. При шлифовании валов после закалки из расчетной формулы исключают дефектный слой *T*. Для заготовки графа 7 не заполняется.

4. Определяют расчетные значения номинальных припусков $z_{i_{ном}}$ по всем технологическим переходам путем суммирования минимального припуска на данный переход (графа 7) с допуском на предшествующий переход (графа 8, строкой выше). Полученное значение $z_{i_{ном}}$ записывается в графу 9 в строке выполняемого перехода. В расчетный номинальный припуск на черновую обработку включается не весь допуск заготовки, а только минусовая его часть *ei* для валов или только плюсовая часть *ES* для отверстий.

5. Записывают для конечного перехода в графу 11 «Расчетный размер»:

для наружных поверхностей наибольший предельный размер детали по чертежу $d_p = d_{дет\max}$;

для внутренних поверхностей – наименьший предельный размер детали по чертежу $D_p = D_{дет\min}$.

Расчет операционных размеров ведется обратно ходу технологического процесса обработки поверхности. Для наружных поверхностей расчетные размеры для предыдущего перехода получают, последовательно прибавляя к исходному размеру номинальные припуски. Для внутренних поверхностей расчетные размеры получают путем последовательного вычисления из исходного размера номинальных припусков.

6. Полученные в графе 11 расчетные межпереходные (операционные) размеры округляют и записывают в графу 12. Округление промежуточных размеров производят до того же знака десятичной дроби, до которого дан допуск на размер для каждого перехода: для вала − в сторону увеличения, для

отверстия – в сторону уменьшения размера. Значения межпереходных допусков берутся из графы 8 и допуски отсчитываются в «материал детали», поэтому предельные отклонения (графа 13) для валов берутся со знаком «-», а для отверстий – со знаком «+». Для заготовки указывается ближайший диаметр по сортаменту.

7. В графу 10 записывают принятые величины номинальных припусков по всем технологическим переходам:

для наружных поверхностей – вычитая из операционного размера предшествующего перехода операционный размер выполняемого перехода (графа 12)

$$z_{i\,ном} = d_{i-1} - d_i\ ;$$

для внутренних поверхностей – вычитая из операционного размера выполняемого перехода операционный размер предшествующего перехода

$$z_{i\,ном} = D_i - D_{i-1}\ .$$

8. Определяют максимальный припуск на каждом переходе по формуле:

$$z_{i\,\max} = z_{i\,ном} + IT_i\ .$$

Результаты расчетов заносят в графу 14. При черновой обработке в максимальный припуск входят также плюсовая часть допуска *es* для валов или минусовая часть *EI* для отверстий:

$$z_{1\max} = z_{1ном} + IT_1 + es\ ,$$

$$z_{1\max} = z_{1ном} + IT_1 + EI\ .$$

9. Определяют общий припуск, суммируя промежуточные номинальные припуски на обработку:

$$z_o = \sum_{i=1}^{n} z_{i\,ном}\ .$$

10. Правильность расчетов проверяют по формуле:

$$d_{заг} - d_{дет} = z_o\ ,$$

где $d_{заг}$ и $d_{дет}$ – номинальные размеры заготовки и готовой детали.

При обработке ступенчатых валов напуск, имеющийся на ступенях меньшего диаметра (если это допустимо по глубине резания), снимают при черновой обработке за один рабочий ход. Большой напуск удаляют за два рабочих хода: 60–70% за первый и 30–40% за второй. Дальнейшую обработку всех ступеней вала ведут в соответствии с расчетными операционными размерами.

Применение опытно-статистического метода для определения промежуточных припусков на обработку поверхностей заготовки дает возможность упростить и ускорить расчеты. В этом случае пользуются таблицами соответствующих стандартов и нормативными материалами соответствующей отрасли.

Таблица 27. Промежуточные припуски на обработку наружных цилиндрических поверхностей

Номинальный диаметр	Операция	Припуск на диаметр по расчетной длине								
		До 25	25 63	63 100	100 160	160 250	250 400	400 630	630 1000	1000 1600
До 6	Точение черновое	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	–	–	–
	Точение чистовое	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	–	–	–
	Шлифование	0,25/ 0,30	0,25/ 0,30	0,25/ 0,30	0,25/ 0,30	0,3/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,5	0,4/ –	–
6–10	Точение черновое	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	–	–
	Точение чистовое	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	–
	Шлифование	0,25/ 0,30	0,25/ 0,30	0,25/ 0,30	0,25/ 0,40	0,3/ 0,4	0,4/ 0,4	–	–	–
10–18	Точение черновое	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	4,0	–	–
	Точение чистовое	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	–
	Шлифование	0,3/ 0,3	0,3/ 0,3	0,3/ 0,3	0,3/ 0,4	0,3/ 0,4	0,4/ 0,5	0,4/ 0,5	0,4	0,5

Продолжение таблицы 27.

Номинальный диаметр	Операция	Припуск на диаметр по расчетной длине								
		До 25	25 63	63 100	100 160	160 250	250 400	400 630	630 1000	1000 1600
18–30	Точение черновое	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,0	5,0	5,0
	Точение чистовое	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5
	Шлифование	0,3/ 0,4	0,3/ 0,4	0,3/ 0,4	0,3/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,5	0,5/ 0,5	0,5/ 0,6	0,6/ 0,7
30–50	Точение черновое	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0
	Точение чистовое	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
	Шлифование	0,4/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,5	0,4/ 0,5	0,4/ 0,5	0,5/ 0,6	0,5/ 0,7	0,7/ 0,8
	Шлифование	0,4/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,5	0,4/ 0,5	0,5/ 0,5	0,5/ 0,6	0,6/ 0,7	0,7/ 0,9
50–80	Точение черновое	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0

	Точение чистовое	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
	Шлифо-вание	0,4/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,4	0,4/ 0,5	0,4/ 0,5	0,5/ 0,5	0,5/ 0,6	0,6/ 0,7	0,7/ 0,9

Примечания:

1. В числителе даны припуски для незакаленных деталей, в знаменателе – для закаленных.

2. При обработке с уступами припуск назначается по отношению к общей длине детали.

При расчете припусков по табличным данным необходимо обращать внимание на графу с указанием расчетной длины заготовки, которая зависит от способа установки заготовки при обработке.

Расчетная длина, на которой определяется номинальный операционный припуск, не распространяется на детали с очень сложной конфигурацией, а также на наиболее деформирующиеся после термообработки. Для этих деталей величина припусков устанавливается больше табличной.

Рассмотрим пример расчета общего номинального припуска при использовании таблиц.

Определить диаметр заготовки из проката для ступенчатого вала длинной 250 мм и наибольшим диаметром шейки d=40h9. Шейка расположена посередине вала, который подвергается термической обработке – закалке.

Заготовка – сталь горячекатаная круглая, обычной точности.

Таблица 28. Расчетная длина заготовки

Способ установки заготовок	Форма обрабатываемого вала		
	Гладкий вал	Ступенчатый вал	
		для средних участков вала	для крайних участков вала
В центрах или патроне с поддержкой задним центром	Полная длина вала	Полная длина вала	Длина, равная удвоенному рас-стоянию от торца вала до наиболее удаленного конца обработанного участка
В патроне без поддержки задним центром	Удвоенная длина выступающей из патрона части заготовки	Длина, равная удвоенному рас- стоянию от наиболее удаленного торца обработанного участка до кулачков патрона	

Обработка цилиндрической поверхности производится по следующему маршруту:

1. Точение черновое.
2. Точение чистовое.

3. Термическая обработка.

4. Шлифование круглое наружное в центрах.

Расчетная длина, по которой определяется номинальный припуск для средней части вала – 250 мм.

Последовательность расчета следующая:

1. Диаметр вала после шлифования: $40h9(_{-0.062})$.

2. Номинальный операционный припуск на диаметр для шлифования детали с учетом термической обработки – 0,5 мм.

3. Диаметр вала после чистового точения – $(40+0,5)h11=40.5h11(_{-0.16})$.

4. Номинальный операционный припуск для чистового точения – 2,0 мм.

5. Диаметр вала после чернового точения – $(40,5+2,0)h13=42.5h13(_{-0.39})$.

6. Номинальный припуск для чернового точения с учетом расчетной длины – 4,5 мм.

7. Расчетный диаметр заготовки 42,5+4,5=47,0 мм.

8. По сортаменту выбираем прокат – $Ø48^{+0,4}_{-0,75}$.

1.9. Основы технического нормирования

Техническое нормирование – это постоянная работа, связанная с установлением минимальных затрат труда на выполненных единиц работ.

Цель нормирования: - повышение производительности труда; рациональное использование рабочего времени рабочих и оборудования механизации и автоматизации производства.

С помощью нормы затрат устанавливается более рациональные формы организации труда рабочих мест, расстановки рабочих, а также производственный расчет, производственных мощностей предприятия, составление планов производства, себестоимости продукции по труду и заработной плате.

Основные задачи нормирования:

1. Увеличение роста производительности труда за счет совершенства организации труда, на рабочем месте и технологии выполнения работ;
2. Установление норм труда на все виды работ выполняемых на предприятие;
3. Обеспечение предприятия технически обоснованными нормами;
4. Своевременный пересмотр норм исходя из проводимых организационно-технических мероприятий, и повышения навыков и квалификации рабочих.

Значение технического нормирования:

с помощью норм труда на предприятие рассчитывается:

1. Количество оборудования рабочих машин и их состав по видам;
2. Численность работающих;
3. Фонд оплаты труда работников предприятия.

Виды норм, применяемые на предприятие:

1. ***Норма времени*** – это время необходимое на выполнение единицы работы, оно является исходное при расчете других видов норма;

2. ***Норма выработки*** – это количество единиц работы, в которые необходимо выполнить в единицу времени;

Между нормой времени и нормой выработки существует обратно пропорциональная зависимость т. е, с уменьшением нормы времени увеличивается норма выработки и наоборот.

Норма времени и выработки бывают:

а) элементные – на момент технологической операции;

б) операционные – на всю технологическую операцию;

в) комплексные – на весь комплекс работ закрепленный за бригадой.

3. ***Норма обслуживания*** – это количество производственных объектов, которые рабочие или бригада обслуживает в единицу времени, для ее расчетов устанавливают нормы времени на обслуживание – это время необходимое для обслуживания единиц оборудования или рабочего места, оно включает время не только чистой работы, но и затраты времени, но переход от одного рабочего места к другому, но подготовку и подноску инструментов, материалов, наблюдение заходов работы, отдых и личные надобности;

Нормы обслуживания устанавливается – для расчета штата обслуживания

4. ***Норма или нормативные численности*** – это количество человек рабочих необходимых по норме, для обслуживания единицы оборудования или рабочего места;

5. ***Единые, типовые и местные нормы***:

Единые – устанавливаются на типовую технологию выполнения работ с учетом передовых методов работы, рабочих и оборудования, и достигнутой производительности труда, они обязательны для применения независимо от того в которой сфере выполнения работы, описанные в них.

Типовые – разработанные по типовым работам одной отрасли с учетом передового опыта и достигнутой в отрасли, они не обязательно для применения, в других отраслях промышленности и если предприятия решило их использовать, то они внедряются приказом руководителя предприятия.

Местные – разрабатываются не посредственно на предприятие при отсутствии норм на работы, которые не предусмотрены едиными или типовыми нормами утверждают и внедряются приказом руководителя предприятия.

Основное (технологическое) время t_o затрачивается на непосредственное изменение размеров, формы, физико-механических свойств и внешнего вида обрабатываемой заготовки.

Расчет основного времени производится по формулам, установленным на основании кинематики данного способа обработки и выбранных режимов резания.

Вспомогательное время $t_в$ – время, затрачиваемое на различные действия, обеспечивающие выполнение элементов работ, относящихся к основному времени.

Устанавливают норму вспомогательного времени по нормативам, определив комплекс приемов, необходимых для выполнения операций. При этом необходимо исходить из габаритов детали, способа установки и

закрепления детали, а также действий, которые должен произвести рабочий в процессе обработки детали.

Вспомогательное время включает: время на установку и снятие детали, время, связанное с переходом или обрабатываемой поверхностью, время на контрольные измерения обработанной поверхности.

Нормативы времени на установку и снятие детали предусматривают выполнение

следующих работ:

– установить и закрепить деталь;

– включить станок;

– выключить станок;

– открепить деталь, снять деталь;

– очистить установочное приспособление от стружки.

В качестве главного фактора продолжительности времени установки и снятия детали принята масса детали. Кроме этого фактора в нормативах учитываются способ крепления и тип приспособления для установки и закрепления; наличие и характер выверки; характер установочной поверхности; количество одновременно устанавливаемых деталей и др.

Нормативами предусматривается установка деталей вручную массой до 20 кг и свыше 20 кг с помощью подъемных механизмов.

Внимание. Не допускается установка вручную деталей массой свыше 20 кг мужчинам, не достигшими 18 лет, и женщинам.

Нормативы времени на обслуживание рабочего места предусматривают время на выполнение следующих работ:

технического обслуживания рабочего места:

– смена инструмента вследствие затупления (для станков, работающих лезвийным инструментом), периодическая правка шлифовального круга и смена его вследствие износа (для шлифовальных станков);

– регулировка и подналадка станка в процессе работы;

– сметание и периодическая уборка стружки в процессе работы.

организационного обслуживания рабочего места:

– осмотр и опробование оборудования;

– раскладка инструмента в начале и уборка его в конце смены;

– смазка и чистка станка в течение рабочего дня;

– получение инструктажа в течение рабочего дня;

– уборка рабочего места в конце смены.

Время на обслуживание рабочего места дано по типам станков в процентах от оперативного времени.

Нормативы времени на отдых и личные надобности устанавливаются в зависимости от занятости рабочего и интенсивности труда в процентах от оперативного времени.

По каждой технологической операции определяется ***оперативное время*** обработки детали ($t_{\text{оп.}}$) по формуле:

$$t_{\text{оп.}} = t_{\text{о}} \ + t_{\text{в}}$$

В зависимости от точности детали и средства измерения устанавливается вспомогательное время на контрольные измерения ($t_к$).

По нормативам в зависимости от операций и оборудования устанавливается ***время на обслуживание рабочего места*** ($t_{о.о}$. , $t_{м.о.}$.), ***отдых и естественные надобности ($t_{н.п}$).***

Определяется ***штучное время*** на технологическую операцию ***($t_{шт}$)*** по формуле:

$$t_{шт} = t_{оп.} + t_{м.о} + t_{о.о.} + t_к + t_{н.п.}$$

Определяется ***подготовительно-заключительное время*** обработки партии деталей ***($t_{п.з}$).***

Определяется норма времени в виде ***штучно-калькуляционного времени*** (***$t_{шт.к}$).*** Норма времени может определяться на 1, 10, 100 или партию деталей.

Норма времени на одну деталь:

$$t_{шт.к} = t_{шт.} + \frac{t_{п.з.}}{m}$$

где m – партия запуска, шт.

Норма времени на 10 деталей:

$$t_{шт.к} = 10 * \left(t_{шт.} + \frac{t_{п.з.}}{m}\right)$$

Норма времени на партию деталей:

$$t_{шт.к} = m * t_{шт.} + t_{п.з.}$$

1.10. Экономичность и производительность технологических процессов

К основным и наиболее объективным критериям целесообразности выбора, наиболее подходящего для конкретных условий варианта обработки относятся его производительность и экономичность.

В общем случае производительность — это количество деталей, сборочных единиц или изделий, изготавливаемых или собираемых в единицу времени. Производительность тесно связана с трудоемкостью и себестоимостью посредством штучно-калькуляционного или штучного времени, которое определяется при техническом нормировании.

Техническое нормирование в широком смысле этого понятия представляет собой установление обоснованных норм расхода производственных ресурсов (энергии, сырья, материалов, инструмента, рабочего времени и т.д.). Особенно важной задачей, решаемой при проектировании технологических процессов, является задача технического нормирования рабочего времени, т.е. нормирования труда. Одной из основных

задач нормирования является определение меры труда и соответствующего вознаграждения.

Существуют следующие методы нормирования труда: опытно-статистический метод; расчетно-аналитический метод (техническое нормирование); метод укрупненного нормирования.

Опытно-статистический метод и метод укрупненного нормирования используются в единичном и мелкосерийном производстве. Расчетно-аналитический метод используется в мелкосерийном (при использовании станков с ЧПУ), среднесерийном, крупносерийном и массовом производстве.

Опытно-статистический метод не предполагает аналитического расчета трудоемкости отдельных элементов выполняемой работы и их суммирования. Норма времени устанавливается на всю операцию в целом путем сравнения с нормами и фактической трудоемкостью выполнения в прошлом аналогичной работы. Основой этого метода являются статистические данные о фактической трудоемкости аналогичных операций в прошлом и опыт нормировщиков и мастеров.

Недостатки опытно-статистических норм заключаются в том, что они узаконивают на будущее существовавшие в прошлом недостатки в технологии и организации труда и производства, являются заниженными и не отвечают задачам вскрытия резервов производства и повышения производительности труда.

В условиях единичного и мелкосерийного производств экономически нецелесообразно расчленять операции на дифференцированные элементы для определения норм времени. В этом случае определение норм времени производится по укрупненным нормативам (на технологические переходы) или по типовым нормам, составленным расчетно-аналитическим методом для типовых ТП.

Использование расчетно-аналитического метода (технического нормирования) позволяет: выявить резервы рабочего времени; улучшить организацию труда на предприятии; установить правильную меру труда; повысить производительность труда и увеличить объем производства.

Нормы времени, определенные расчетно-аналитическим методом, называются технически обоснованными нормами или просто техническими нормами.

Технически обоснованная норма времени (*техническая норма*) – это время, необходимое для выполнения единицы работы, установленное расчетом исходя из рационального использования в данных условиях производства труда рабочего (живого труда) и орудий труда (овеществленного труда) с учетом передового производственного опыта.

Техническая норма устанавливается с учетом наличия рационального ТП, правильной для данных производственных условий организации труда и выполнения работы рабочим соответствующей квалификации, производительность труда которого выше средней производительности труда рабочих на аналогичной работе.

Технические нормы служат основой для определения производительности труда, требуемого количества и загрузки оборудования, производственной мощности участков и цехов, расчета основных показателей по труду и заработной плате, проведения оперативного (календарного) планирования.

Достоинство технических норм в том, что они предусматривают использование передового производственного опыта, а также более полное использование имеющихся средств производства и рабочего времени, так как они установлены исходя из рационально построенных технологических и трудовых процессов, определяют производительность труда выше среднего достигнутого уровня и являются поэтому прогрессивными, подтягивающими отстающих рабочих к передовым, являются однородными по жесткости, что исключает появление неоправданно высокой или чрезмерно низкой оплаты труда, в обоих случаях приводящей к дезорганизации производства, устраняют конфликты и споры о правильности норм, имеющие место при опытно-статистическом нормировании.

Нормируемые затраты рабочего времени классифицируются на подготовительно-заключительное время, оперативное время (сумма основного и вспомогательного времени), время обслуживания рабочего места (сумма времен технического и организационного обслуживания) и время перерывов на отдых и личные потребности рабочего.

В структуру штучно-калькуляционного времени входят штучное и подготовительно-заключительное время.

В структуру штучного времени входят основное и вспомогательное время, время технического и организационного обслуживания рабочего места, время перерывов на отдых и личные потребности рабочего.

При современном уровне развития технологии машиностроения имеется возможность изготовить практически любую деталь разними способами. Проектируя технологический процесс, важно установить его оптимальный вариант, отвечающий всем техническим и экономическим требованиям производства. Те же соображения относятся к необходимости выбора оптимального варианта выполнения каждой операции данного технологического процесса. Задача по определению эффективности вариантов сложна и трудоемка. Критерием целесообразности считают наименьшую технологическую себестоимость изготовления изделия. Технологическая себестоимость — часть себестоимости изделия, определяемая суммой затрат на осуществление технологических процессов изготовления изделия (ГОСТ 14.205 - 83). Для детали она складывается из стоимости материала или заготовки и себестоимости механической обработки (без учета накладных расходов). Выбор экономически наиболее выгодного варианта построения ТП проводят путем сравнения технологических себестоимостей выполнения ТП в сравниваемых вариантах. По результатам сравнения выбирают вариант, обеспечивающий наименьшую себестоимость изготовления изделия.

Расчет экономичности вариантов технологических процессов проводится бухгалтерским или элементным методом.

При бухгалтерском методе учитываются текущие и единовременные затраты.

Единовременные затраты производятся один раз на все количество заготовок или периодически на определенную их партию. В их состав включаются затраты на приобретение специальных станков, приспособлений и инструмента, а также на наладку станков.

Текущие затраты повторяются при изготовлении каждой отдельной заготовки и включают в себя стоимость исходной заготовки, затраты на заработную плату основных рабочих и все цеховые расходы, связанные с амортизацией и ремонтом оборудования, содержанием зданий, с затратами на силовую электроэнергию, нормальный режущий, мерительный и вспомогательный инструмент и универсальные приспособления, заработную плату инженерно-технических работников, управленческого и обслуживающего персонала, вспомогательных рабочих цеха. Процент накладных (цеховых) расходов колеблется от 150 до 800%.

Бухгалтерский метод прост и нагляден, однако не дает возможности учесть разницу в расходах по эксплуатации и амортизации оборудования и универсальной оснастки, различной по сложности и размерам. При расчете по этому методу более производительные технологические процессы оказываются более экономичными даже в случаях применения очень сложного и дорогого универсального оборудования, и технологической оснастки.

Элементный метод или метод прямого расчета всех составляющих себестоимости является наиболее точным. При этом учитываются затраты на заработную плату с начислениями рабочих и наладчиков, силовую электроэнергию, вспомогательные материалы, амортизацию, заточку и ремонт универсального и специального режущего инструмента, амортизацию и ремонт универсального и специального мерительного инструмента, амортизацию оборудования, ремонт и модернизацию оборудования, амортизацию и ремонт универсальных и специальных приспособлений, амортизацию, ремонт, отопление, освещение и уборку производственного помещения, общие цеховые расходы, стоимость исходной заготовки.

В отдельных случаях при расчете элементным методом можно не учитывать затраты, остающиеся постоянными во всех сравниваемых вариантах, и определять себестоимость только по затратам, зависящим от сравниваемых технологических процессов.

Элементный метод расчета себестоимости является основным методом сопоставления экономичности технологических процессов во всех ответственных случаях, особенно в условиях массового и крупносерийного производств. В менее ответственных случаях, а также при расчете себестоимости для серийного и мелкосерийного производств этот метод применяется с учетом укрупненных нормативов затрат.

Технологические методы повышения производительности и снижения себестоимости изделий связанны с сокращением времени выполнения операций за счет сокращения подготовительно-заключительного и штучного времени.

Сокращение штучного времени проводится за счет уменьшения основного и вспомогательного времени.

Пути сокращения основного времени: повышение качества исходных заготовок; сокращение длины рабочего хода инструмента; совмещение переходов; дифференциация и концентрация операций; повышение режимов обработки.

Вспомогательное временя можно сократить за счет уменьшения времени: на смену и закрепление заготовок; управление оборудованием; контроль над ходом выполнения технологического процесса.

Кроме того, на повышение производительности и снижение себестоимости изделий существенное влияние оказывает многостаночное обслуживание, совмещение профессий и научная организация труда.

1.11. Проектирование технологических процессов механической обработки

При проектировании процесса механической обработки основными задачами является определение условий изготовления изделия с учетом заданного типа производства, разработка маршрута обработки, выявление необходимых средств производства, определение исходных данных для организации технического контроля и др.

Разрабатывая технологический процесс обработки деталей, необходимо выполнить следующие условия:

1. Наметить базовые поверхности, которые должны быть обработаны в самом начале технологического процесса.
2. Выполнить операции черновой обработки, при которых снимают наибольшие слои металла, что позволяет сразу выявить дефекты заготовки и освободиться от внутренних напряжений, вызывающих деформации.
3. Обработать вначале те поверхности, которые не снижают жесткость обрабатываемой детали, не требуют высокой точности качества, будут служить технологической базой для последующих операций.
4. При выборе технологических баз следует стремиться к соблюдению основных принципов базирования – совмещения и постоянства баз.
5. Последовательность обработки должна обеспечивать требуемое качество выполнения детали.
6. Необходимо учитывать, на каких стадиях технологического процесса целесообразно производить механическую, термическую и другие методы обработки в зависимости от требований чертежа.
7. Отделочные операции следует производить в конце технологического процесса обработки.

После разработки маршрута обработки детали и содержания операций производят выбор средств технологического оснащения.

Разработанный технологический маршрут обработки детали можно представить в виде таблицы 15, в которой будет описан весь порядок обработки с указанием обрабатываемых поверхностей.

Таблица 15. – Маршрутная технология обработки детали

Номер операции	Наименование операции, обрабатываемые поверхности	Эскиз	Применяемое оборудование

Разработанный технологический маршрут обработки детали оформляют в маршрутной карте технологического процесса, отразив краткое содержание операции, технологическое оснащение и трудовые нормативы.

Оформление маршрутных карт, а также выполнение записей технологической информации в технологических документах на технологические процессы и операции следует выполнять в соответствии с ГОСТ 3.1118-82 и ГОСТ 3.1129-93.

При проектировании технологического процесса изготовления детали предусматриваются необходимые контрольные операции, назначаются методы и средства технического контроля и измерений. Контроль качества продукции должен быть организован так, чтобы обеспечивать активное вмешательство в производственный процесс, т.е. осуществлять управление качеством.

При проектировании процессов контроля, последовательности операций и установлении основных документов, обеспечивающих решение задач каждого этапа контроля следует руководствоваться рекомендациями Р 50-609-40-01.

При разработке процессов и операций контроля должны выполняться следующие требования:

1) контроль должен предотвращать пропуск дефектных материалов, полуфабрикатов, заготовок, деталей и сборочных единиц на последующие этапы изготовления, испытания, ремонта и потребления;

2) контроль должен соответствовать требованиям действующей на предприятии системы менеджмента качества;

3) контроль должен соответствовать требованиям промышленной безопасности, пожаро- и взрывобезопасности, промышленной санитарии и правилами защиты окружающей среды;

4) проектирование технического контроля осуществляют с учетом характеристик технологического процесса изготовления изделия с обеспечением необходимой взаимосвязи и взаимодействия между ними;

5) при проектировании технического контроля должны обеспечиваться: достоверная оценка качества продукции и снижение потерь от брака; повышение производительности труда; снижение трудоемкости контроля; возможное совмещение операций изготовления с операциями технического контроля; сбор и обработка информации для контроля, прогнозирования и регулирования технологических процессов обработки; оптимизация технического контроля по установленным технико-экономическим критериям;

6) при проектировании операций технического контроля следует обеспечивать единство измерительных баз с конструкторскими и технологическими;

7) уровень механизации и автоматизации контроля должен соответствовать требованиям технологии изготовления изделия, а также условиям и типу производства.

В общем виде маршрут технического контроля содержит:

1. Входной контроль марки материала, геометрических и физических параметров, внешнего вида объекта. Основные положения по организации, проведению и оформлению результатов входного контроля материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий устанавливает ГОСТ 24297-87.

Входной контроль проводят на предприятиях с целью предотвращения запуска в производство продукции поставщиков, не соответствующей установленным требованиям конструкторской и нормативной документации, договоров на поставку и протоколов разрешения. Входной контроль осуществляют по параметрам (требованиям) и методами, установленными в нормативной документации на продукцию, в договорах на поставку и протоколах разрешения.

Задачами *входного контроля* являются:

– проверка наличия сопроводительной документации на продукцию, удостоверяющей качество и комплектность продукции;

– контроль соответствия качества и комплектности продукции требованиям конструкторской и технологической документации и применения ее в соответствии с протоколами разрешения;

– накопление статистических данных о фактическом уровне качества получаемой продукции и разработка на этой основе предложений по повышению качества и, при необходимости, пересмотра требований нормативной документации на продукцию;

– периодический контроль за соблюдением правил и сроков хранения продукции поставщиков.

Входной контроль необходимо проводить в специально отведенном помещении (участке), оборудованном необходимыми средствами контроля, а также отвечающем требованиям безопасности труда. Входной контроль проводят кладовщик, контролер соответствующей квалификации.

Порядок проведения входного контроля:

1) проверить сопроводительные документы, удостоверяющие качество продукции, и зарегистрировать продукцию в журналах учета результатов входного контроля;

2) проконтролировать отбор складскими работниками выборок или проб, проверить комплектность, упаковку, маркировку, внешний вид и заполнить акт отбора выборок или проб;

3) провести контроль качества продукции по технологическому процессу входного контроля или передать в соответствующее подразделение выборки или пробы для испытаний (анализов).

По результатам входного контроля в сопроводительных документах на продукцию делают отметку о проведении входного контроля и его результатах, маркируют (клеймят) принятую продукцию. При соответствии продукции установленным требованиям принимается решение о передаче ее в производство. При выявлении несоответствия продукцию маркируют «Брак» и направляют в изолятор брака или возвращают поставщику.

2. Операционный контроль геометрических параметров, внешнего вида объектов должен проводиться с целью своевременного предотвращения отступлений от требований конструкторской и технологической документации при изготовлении деталей, сборочных единиц, а также для выявления характера и причин отклонений от технологических процессов в ходе производства и разработки мероприятий, направленных на обеспечение стабильности качества выпускаемой продукции.

Задачами операционного контроля являются:

– проверка соответствия режимов и параметров технологического процесса требованиям технологической документации;

– регулирование технологического процесса, т.е. внесение необходимых корректив в ход технологического процесса по результатам проверки его режимов и параметров качества деталей.

Операционный контроль проводят исполнитель операций, мастера, работники отдела технического контроля (ОТК) по планам, установленным соответствующей документацией и в зависимости от требований, предъявляемых к качеству деталей. Операционный контроль осуществляют, как правило, на всех стадиях производства. В организации операционного контроля важно обеспечить непрерывность контроля и охват всех технологических операций, определяющих качество изделия.

3. Приемочный контроль деталей проводится с целью установления пригодности к поставке или использованию бездефектных укомплектованных изделий и предусматривает проведение всесторонних оценок их качества (геометрических параметров, внешнего вида, наличие клейма и документации) на соответствие требованиям, установленным в конструкторской и технологической документации.

Задачами приемочного контроля являются:

– проверка качества сборки, наладки, регулировки, эксплуатационных характеристик готовых изделий;

– проверка наличия предусмотренной сопроводительной документации, подтверждающей приемку деталей, сборочных единиц;

– проверка маркировки, консервации, упаковки и тары;

– проверка комплектности готовых изделий.

Приемочный контроль качества готовых изделий проводится работниками ОТК и представителем заказчика.

В целях уменьшения объема контрольных работ и повышения надежности контроля рекомендуется следующая последовательность контрольных операций (переходов) при проверке деталей.

1. Наружный осмотр на предмет проверки законченности всех операций соответствующего процесса и отсутствия заусенцев, мелкой стружки или загрязненности. Установив беглым осмотром, что предъявленная партия деталей плохо промыта или имеет заусенцы, контролер возвращает детали на производственный участок, не проверяя другие элементы у данных деталей.

2. Проверка качества отделки поверхностей, т.е. их шероховатости, которая в большинстве случаев в цехах осуществляется визуальным сравнением с установленными образцами или образцовыми деталями. Одновременно выявляются возможные видимые дефекты материала или механические повреждения.

3. Проверка наиболее ответственных параметров качества деталей (по размерам, форме), изготовленных с высокой степенью точности. При обнаружении отклонений от допусков по ответственным параметрам качества деталь бракуют. Поэтому подобные контрольные операции надо выполнять перед более трудоемкими контрольными операциями, чтобы не затрачивать времени на дальнейшую проверку дефектных деталей по другим параметрам.

4. Выявление отклонений формы и расположения поверхностей и осей. Проверку отклонений формы и расположения поверхностей рекомендуется выполнять после контроля ответственных размеров, потому что эти контрольные операции обычно более трудоемки, так как осуществляются с помощью специальных контрольных приспособлений или приборов.

5. Проверка несоответствия элементов деталей, например, несопрягаемых размеров, имеющих сравнительно большие допуски на обработку. Ее осуществляют в последнюю очередь, так как обнаружение отклонений от технических условий по неответственным элементам часто не является причиной их окончательного забракования.

Предусмотренная последовательность контроля должна гарантировать, что ни один параметр качества не будет пропущен контролером.

Особенности организации технического контроля в зависимости от типа производства приведены в таблице 16.

Таблица 16. Особенности организации технического контроля в зависимости от типа производства

Тип производства	Особенности организации технического контроля
1	2
Единичное, мелкосерийное производство	Технология контроля разрабатывается с маршрутным описанием. Необходим тщательный сплошной операционный и приемочный контроль контролерами высокой квалификации. Применяются универсальные средства контроля. Специальные средства контроля применяются только в технически или экономически обоснованных случаях.
Серийное, крупносерийное производство	Разрабатывается технология контроля с маршрутно-операционным и операционным описанием. Применяется контроль: выборочный операционный статистическими методами, сплошной операционный для ответственных и высокоточных

	деталей, профилактический контроль первой детали. Приемочный контроль, в основном, сплошной. Применяются универсальные средства контроля, калибры, шаблоны, специальные контрольные приспособления. На отдельных операциях используются механизированные, полуавтоматические и автоматические средства контроля. Организуются контрольные пункты стационарного контроля. Квалификация контролеров в основном средняя.
Массовое производство	Разрабатывается технология с операционным описанием. Проектируются специальные высокопроизводительные контрольные приборы, применяется оснастка (сортировочные автоматы, полуавтоматы, средства автоматического и активного контроля). Универсальные средства контроля имеют ограниченное
	применение (в основном при наладке станков). Контрольные пункты размещаются в поточной линии. Применяются выборочный операционный и приемочный контроль со статистическими методами. Сплошной контроль с применением механизированных и автоматизированных средств контроля предусматривается для точных и ответственных деталей и узлов. Квалификация контролеров – невысокая, ИТР ОТК – высокой квалификации.

Разработанный технологический процесс технического контроля детали следует представить в виде таблицы 17, в которой будет описан порядок проведения контроля с указанием содержания каждой операции контроля.

Таблица 17. Технологический процесс технического контроля детали

Номер и наименование операции	Содержание операции (контролируемые параметры)	Эскиз

Разработанный технологический процесс технического контроля детали необходимо оформить совместно с технологией обработки детали в маршрутной карте технологического процесса (ГОСТ 3.1105-2011) с указанием названия операции и оборудования. Подробное содержание каждой операции контроля следует представить в операционной карте технического контроля (по ГОСТ 3.1502-85) и карте эскизов контрольных операций (по ГОСТ 3.1105-2011).

1.12. Основные сведения о технологии сборки

Сборка — это образование разъемных или неразъемных соединений составных частей заготовки или изделия. Сборкой обеспечивается необходимая взаимосвязь отдельных деталей и сборочных единиц.

Сборочная единица — это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, склеиванием, клепкой, опрессовкой и т.п.). Характерным технологическим признаком сборочной единицы является

возможность ее сборки обособленно от других элементов изделия, в дальнейшей сборке она может участвовать как одно целое. Сборочная единица может состоять либо из отдельных деталей, либо из деталей и сборочных единиц высших порядков.

Сборочные единицы, входящие непосредственно в готовое изделие, являются сборочными единицами первого порядка. Они состоят из сборочных единиц второго порядка и т.д. Составными частями высшего порядка являются только детали, которые поступают на сборку после их изготовления и окончательного технического контроля. Деление изделия на составные части осуществляется по технологическому признаку, т.е. по возможности сборки каждой составной части обособленно от других элементов изделия.

Различают узловую и общую сборку. *Узловая сборка* — сборка, объектом которой является составная часть изделия (сборочная единица или узел). *Общая сборка* — сборка, объектом которой является изделие в целом.

В условиях единичного и мелкосерийного типов производства основная часть сборочных работ выполняется на общей сборке, и лишь малая их доля осуществляется над отдельными сборочными единицами. С увеличением серийности производства сборочные работы все больше раздробляются по отдельным сборочным единицам, а в условиях массового и крупносерийного типов производства объем узловой сборки становится равным или даже превосходит объем общей сборки. Это в значительной мере способствует механизации и автоматизации сборочных работ и повышает их производительность.

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным соединением, взаимным ориентированием и фиксацией деталей и узлов с целью получения готового изделия, удовлетворяющего заданным требованиям.

Технологическая операция сборки представляет собой законченную часть технологического процесса, выполняемую непрерывно над сборочной единицей одним или группой рабочих на одном рабочем месте.

Переход сборочного процесса — это законченная часть сборочной операции, выполняемая над определенным сборочным соединением неизменным методом выполнения работы при использовании одних и тех же инструментов, и приспособлений.

Процесс сборки состоит из следующих *видов работ:*

• подготовка деталей к сборке — различные слесарно-пригоночные работы (опиливание, шабрение и др.), выполняемые при необходимости, окраска отдельных деталей, очистка и промывка деталей, смазывание сопрягаемых деталей, если это необходимо по техническим условиям, комплектация деталей по размерным группам и по массе, если этого требует технологический процесс сборки изделия;

• непосредственно сборочные операции, т.е. процессы соединения сопрягаемых деталей и узлов с обеспечением правильного их взаимного положения и определенной посадки;

• регулировочные работы, проводимые в процессе сборки или после ее окончания с целью достижения требуемой точности взаиморасположения деталей в сборочной единице или изделии;

• контрольно-испытательные работы, выполняемые для проверки соответствия сборочных единиц или изделия параметрам, установленным чертежом или техническими условиями;

• демонтажные работы, в состав которых входят работы по частичной разборке собранного изделия с целью его подготовки к упаковке и транспортированию к потребителю (применяется, как правило, при изготовлении крупных изделий).

По стадиям процесс сборки подразделяется на следующие виды. *Промежуточная сборка* — сборка деталей, выполняемая для дальнейшей их совместной обработки, например: предварительная сборка корпуса редуктора с крышкой для последующей совместной обработки отверстий под подшипники, предварительная сборка шатуна с крышкой шатуна для обработки отверстия под шатунные шейки коленчатого вала и т.п.

Предварительная сборка — сборка деталей, составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке, например: предварительная сборка узла с целью определения размера неподвижного компенсатора.

Сборка под сварку — сборка заготовок для их последующей сварки. Процесс соединения деталей с помощью сварки в большинстве случаев является сборочным и может быть введен непосредственно в поток узловой или общей сборки. Большой объем сборочных работ с применением сварки выполняется при изготовлении, например, кузовов и кабин различных автомобилей. В процессе сварки основание, кабина и другие элементы кузова удерживаются в специальных приспособлениях фиксаторами, чем обеспечивается правильное положение элементов относительно друг друга.

Окончательная сборка — сборка изделия или его составной части, после которой не предусмотрена его последующая разборка при изготовлении. После окончательной сборки для некоторых изделий может следовать демонтаж изделия для его подготовки к упаковке и транспортированию к потребителю.

По методу образования соединений сборка подразделяется на следующие виды:

- • слесарную сборку, т.е. сборку изделия или его составной части с помощью слесарно-сборочных операций;
- • монтаж, т.е. установку изделия или его составных частей на место использования;
- • электромонтаж, т.е. монтаж электроизделий или их составных частей, имеющих токоведущие элементы;
- • сварку, пайку, клепку и склеивание.

Проектирование технологического процесса сборки включает несколько этапов, каждый из которых играет важную роль в создании эффективного и качественного процесса сборки. Рассмотрим эти этапы подробнее:

Анализ требований и спецификаций. На этом этапе проводится анализ требований и спецификаций к изделию, которое будет собираться. Изучаются технические характеристики, функциональные требования, размеры и другие параметры, которые необходимо учесть при разработке технологического процесса сборки.

Выбор методов и средств сборки. На этом этапе определяются методы и средства, которые будут использоваться при сборке изделия. Это может включать выбор способа соединения деталей, использование специальных инструментов и оборудования, а также применение автоматизированных систем сборки.

Разработка последовательности операций сборки. На этом этапе определяется последовательность операций, которые необходимо выполнить при сборке изделия. Это включает определение порядка соединения деталей, установку компонентов, проведение проверок и другие операции, необходимые для сборки изделия.

Определение необходимого оборудования и инструментов. На этом этапе определяется необходимое оборудование и инструменты для выполнения операций сборки. Это может включать выбор специализированного оборудования, такого как роботы или автоматические линии сборки, а также определение необходимых инструментов, таких как отвертки, пинцеты и другие.

Оценка времени и затрат на сборку. На этом этапе проводится оценка времени и затрат, необходимых для выполнения технологического процесса сборки. Это позволяет оптимизировать процесс и улучшить его эффективность.

Оптимизация технологического процесса сборки. Проводится анализ и оптимизация технологического процесса сборки с целью улучшения его эффективности, снижения затрат и повышения качества готового изделия.

Контроль и управление качеством сборки. Осуществляется контроль и управление качеством сборки на каждом этапе процесса. Это включает проверку соответствия изделия требованиям и спецификациям, а также выявление и исправление возможных дефектов.

Первый этап проектирования технологического процесса сборки – анализ требований и спецификаций. На этом этапе необходимо тщательно изучить требования к готовому изделию и его характеристики, а также спецификации, которые определяют необходимые материалы, компоненты и стандарты качества.

Анализ требований включает в себя изучение функциональных и технических требований к изделию. Функциональные требования определяют, как должно работать изделие и какие функции оно должно выполнять. Технические требования определяют, какие характеристики и параметры должны быть у изделия, например, размеры, масса, электрические характеристики и т.д.

Анализ спецификаций включает в себя изучение документов, которые определяют необходимые материалы, компоненты и стандарты качества для изготовления изделия. Спецификации могут содержать информацию о типе

материалов, их характеристиках, размерах, требованиях к монтажу и т.д. Важно учесть все эти требования при разработке технологического процесса сборки.

Анализ требований и спецификаций позволяет полностью понять, как должно быть собрано изделие и какие материалы и компоненты необходимы для этого. Это является основой для дальнейшего проектирования технологического процесса сборки.

Выбор методов и средств сборки является важным этапом проектирования технологического процесса. На этом этапе определяются способы и инструменты, которые будут использоваться для сборки изделия.

Методы сборки определяют последовательность операций, которые необходимо выполнить для сборки изделия. В зависимости от конкретного изделия и его конструкции, могут применяться различные методы сборки:

- Ручная сборка: операции выполняются вручную с помощью простых инструментов, таких как отвертки, пинцеты и т.д.
- Механизированная сборка: операции выполняются с помощью специальных механизмов и инструментов, таких как автоматические монтажные станки, роботы и т.д.
- Автоматизированная сборка: операции выполняются с помощью компьютерно-управляемых систем, которые автоматически выполняют необходимые операции сборки.

Средства сборки включают в себя инструменты, оборудование и приспособления, которые необходимы для выполнения операций сборки. В зависимости от метода сборки и требований к изделию, могут использоваться различные средства сборки:

- Ручные инструменты: отвертки, пинцеты, клещи и т.д.
- Механизированное оборудование: монтажные станки, пресс-формы, специальные устройства для сборки и т.д.
- Автоматизированные системы: роботы, конвейеры, компьютерно-управляемые машины и т.д.

При выборе методов и средств сборки необходимо учитывать такие факторы, как сложность изделия, требования к качеству и производительности, доступность и стоимость необходимых инструментов и оборудования. Важно выбрать оптимальные методы и средства сборки, которые позволят эффективно и качественно собрать изделие.

Разработка последовательности операций сборки является важным этапом проектирования технологического процесса сборки. На этом этапе определяется порядок выполнения операций, необходимых для сборки изделия.

Анализ конструкции изделия. Первым шагом в разработке последовательности операций сборки является анализ конструкции изделия. Необходимо изучить детали и элементы, из которых состоит изделие, и определить, как они взаимодействуют друг с другом.

На основе анализа конструкции изделия определяются основные этапы сборки. Это могут быть этапы, связанные с монтажем основных компонентов, установкой соединений, настройкой и проверкой работоспособности.

После определения основных этапов сборки необходимо установить последовательность операций в рамках каждого этапа. Это позволяет оптимизировать процесс сборки и упростить выполнение операций.

При разработке последовательности операций сборки необходимо учитывать требования к качеству и безопасности изделия. Некорректная последовательность операций может привести к дефектам или повреждениям изделия, а также создать опасность для работников.

Последний шаг в разработке последовательности операций сборки – оптимизация. На этом этапе ищутся возможности улучшить процесс сборки, сократить время выполнения операций, уменьшить затраты на ресурсы и повысить качество изделия.

В результате разработки последовательности операций сборки получается детальный план, который указывает, какие операции нужно выполнить, в каком порядке и с какими инструментами и оборудованием. Этот план становится основой для проведения сборочных работ и обеспечивает эффективность и качество процесса сборки.

На этом этапе проектирования технологического процесса сборки определяется необходимое оборудование и инструменты, которые будут использоваться для выполнения операций сборки. Это включает в себя выбор и спецификацию различных машин, станков, приспособлений, инструментов и прочего оборудования, которые позволят эффективно и качественно выполнять сборочные операции.

Выбор оборудования зависит от требований и спецификаций изделия, а также от характеристик операций сборки. Необходимо учитывать такие факторы, как скорость и точность обработки, возможность автоматизации процесса, надежность и долговечность оборудования, его стоимость и доступность на рынке.

После выбора оборудования необходимо составить его спецификацию, которая включает в себя технические характеристики, требования к производительности, размеры и вес, электропотребление и другие параметры. Спецификация помогает уточнить требования к оборудованию и обеспечить его соответствие заданным параметрам.

Помимо оборудования, необходимо выбрать и специфицировать инструменты, которые будут использоваться для выполнения операций сборки. Это могут быть ручные инструменты, такие как отвертки, пинцеты, ключи, а также специализированные приспособления и пресс-формы. Выбор инструментов зависит от конкретных операций сборки и требований к точности и качеству сборки.

Определение необходимого оборудования и инструментов является важным шагом в проектировании технологического процесса сборки, так как правильный выбор оборудования и инструментов позволяет обеспечить эффективность, точность и качество сборки изделия.

Оценка времени и затрат на сборку является важным этапом проектирования технологического процесса. Она позволяет определить,

сколько времени и ресурсов потребуется для выполнения операций сборки и завершения проекта.

Для оценки времени на сборку необходимо учитывать следующие факторы:

- Сложность изделия: чем сложнее изделие, тем больше времени потребуется на его сборку.
- Количество операций сборки: чем больше операций, тем больше времени потребуется на сборку.
- Опытность сборщиков: опытные сборщики могут выполнять операции быстрее и более эффективно.
- Доступность оборудования и инструментов: если оборудование и инструменты легко доступны, это может сократить время на сборку.

Для оценки времени на сборку можно использовать различные методы, такие как экспертные оценки, стандартные временные нормативы или аналогии с предыдущими проектами.

Оценка затрат на сборку включает в себя следующие аспекты:

- Затраты на материалы: необходимо учесть стоимость всех материалов, используемых в процессе сборки.
- Затраты на оборудование и инструменты: необходимо учесть стоимость покупки или аренды оборудования и инструментов.
- Затраты на труд: необходимо учесть затраты на оплату труда сборщиков.
- Прочие затраты: к ним могут относиться затраты на энергию, транспортировку и прочие непредвиденные расходы.

Для оценки затрат на сборку можно использовать методы бюджетирования, анализа стоимости или сравнение с аналогичными проектами.

Важно отметить, что оценка времени и затрат на сборку является предварительной и может быть скорректирована в процессе выполнения проекта. Также необходимо учитывать возможные риски и неопределенности, которые могут повлиять на время и затраты на сборку.

Контроль и управление качеством сборки являются важной частью технологического процесса сборки. Они направлены на обеспечение высокого уровня качества готового изделия и предотвращение возможных дефектов и отклонений.

Контроль качества включает в себя проверку и оценку каждого этапа сборки, начиная с приемки комплектующих и заканчивая готовым изделием. Он осуществляется с помощью различных методов и инструментов, таких как визуальный осмотр, измерения, испытания и анализ.

Визуальный осмотр позволяет обнаружить поверхностные дефекты, такие как царапины, трещины или неправильное соединение деталей. Измерения проводятся для проверки соответствия размеров и геометрических параметров деталей требованиям спецификации. Испытания проводятся для проверки работоспособности и надежности изделия.

Контроль качества также включает проверку соблюдения технологических процедур и стандартов сборки. Это включает проверку правильности последовательности операций сборки, использования правильных инструментов и оборудования, а также соблюдение требований по безопасности и эргономике.

Управление качеством включает в себя планирование, организацию и контроль всех действий, направленных на обеспечение высокого уровня качества сборки. Оно основано на принципах непрерывного улучшения и предотвращения возникновения дефектов.

Управление качеством включает следующие шаги:

1. Установление стандартов качества: определение требований к качеству изделия и установление стандартов, которым должна соответствовать сборка.
2. Планирование качества: разработка плана действий, направленных на обеспечение качества сборки, включая выбор методов контроля, определение частоты и объема проверок, а также распределение ответственности.
3. Контроль процесса сборки: наблюдение и контроль за каждым этапом сборки, включая проверку соответствия требованиям, исправление возможных отклонений и предотвращение возникновения дефектов.
4. Анализ и улучшение: анализ результатов контроля качества, выявление причин возникновения дефектов и принятие мер для их устранения. Также проводится анализ эффективности технологического процесса сборки и принятие мер для его улучшения.

Управление качеством также включает обучение персонала и создание системы обратной связи, чтобы обеспечить постоянное совершенствование процесса сборки и достижение высокого уровня качества готового изделия.

1.13. Основные сведения об электрофизических и электрохимических методах обработки материалов

Современное машиностроение и приборостроение характеризуется постоянно расширяющимся применением конструкционных материалов со специальными физико-механическими свойствами, обработка которых традиционными методами резания крайне затруднена, а в ряде случаев просто невозможна. К группе таких труднообрабатываемых материалов относятся жаропрочные и титановые сплавы, нержавеющие стали, твердые сплавы, различные виды керамики, полупроводниковые материалы, магнитные сплавы, твердые и сверхтвердые природные и искусственные кристаллы и т. п. Трудности обработки таких материалов удалось преодолеть с помощью различных электрофизических и электрохимических методов обработки. Основные сведения представлены ниже.

1.13.1. Электроэрозионная обработка материалов (ЭЭО)

На (рис. 1.93) представлена схема первой лабораторной установки для ЭЭО.

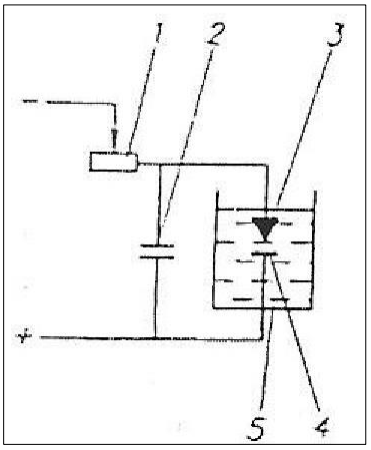


Рис.1.93. Схема первой лабораторной установки для ЭЭО.

В этой установке электрод-инструмент 3 и заготовка 4 были помещены в ванну с диэлектрической жидкостью 5 в качестве генераторов импульсов используется батарея конденсаторов 2 заряжается от источника постоянного тока. А время зарядки регулировалось реостатом 1. Электрод-инструмент 3 перемещали к заготовке 4. По мере их сближения возрастала напряженность электрического поля и в пространстве между электродом-инструментом и заготовкой (межэлектродный промежуток – МЭП).

При достижении определенного напряжения электрического поля на участке с минимальным МЭП возникал электрический разряд (протекал импульс тока), под действием которого происходило разрушение материала заготовки. Продукты обработки попадали в диэлектрическую жидкость 5, где охлаждались и, не достигая электрода-инструмента, осаждались на дно ванны. Через некоторое время электрод-инструмент прошивал пластину 4, при этом контур отверстия соответствовал зеркальному отображению профиля инструмента. Так явление, считавшееся вредным, было эффективно использовано для размерной обработки металлов (токопроводимых материалов).

1.13.2. Общие описание процесса. Стадии его протекания

Все методы ЭЭО основаны на использовании электрической эрозии – направленное разрушения электропроводящих материалов в результате кратковременного теплового действия импульсных электрических разрядов между инструментом и заготовкой детали в жидкой диэлектрической среде.

Кратко проанализируем основные стадии протекания электроэрозионного процесса снятия припусков.

По мере сближения электрода-инструмента с заготовкой напряженность E электрического поля возрастает обратно пропорционально расстоянию между электродами:

$$E = \frac{U}{S},$$

где U – разность потенциалов электрода-инструмента и заготовки; S – зазор между электродами.

При этом наибольшая напряженность E возникает на участке, где межэлектродный зазор минимален. Расположение этого участка зависит от величины шероховатости на поверхности инструмента и заготовки, а также от наличия и размеров электропроводных частиц (продуктов разрушения), находящихся в межэлектродном промежутке.

На (рис. 1.94) показано формирование зазора S между электродом-инструментом 3 и электродом-заготовкой 4.

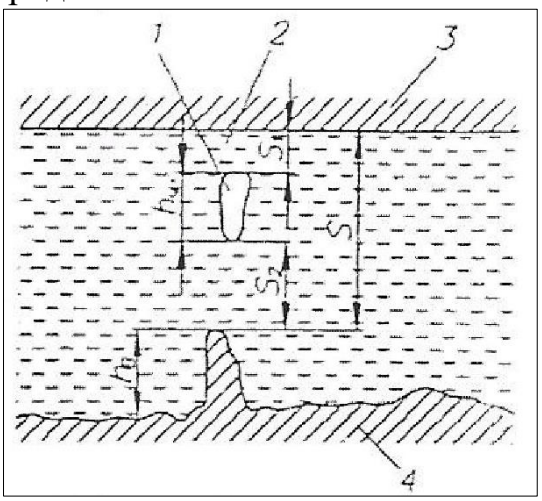


Рис.1.94. Формирование зазора S между электродом-инструментом 3 и электродом-заготовкой 4

Отсюда видно, что зазор зависит от высоты местного микро- или макровыступа, а также от наличия и размеров электропроводных частиц 1 в диэлектрике 2.

Частица 1 с размером $h_ц$ уменьшает расчетный зазор до размера S_1 и S_2, в то время как при отсутствии этих частиц расчетный зазор будет S. Если электроды сблизить до пробойного расстояния, то напряженность электрического поля может достигнуть значения, при котором в месте минимального зазора возникнет электрический разряд и через МЭП протекает электрический ток, то есть имеет место направленное движение электродов. Электрическом поле в направлении обратно направленных электронов происходит перемещение более тяжелых частиц ионов. Электроны, имеющие меньшую массу, быстро достигают положительно заряженной поверхности заготовки и нагревают металл, вызывая его расплавления и испарение в месте прохождения тока.

В результате такого воздействия на поверхности заготовки образуются углубление по форме, близкой к сферической лунки с радиусом R. (рис. 1.95)

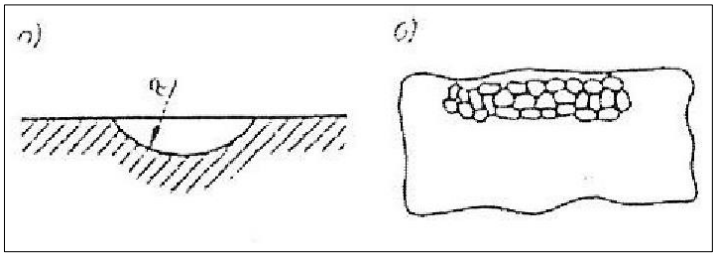


Рис.1.95. Образование углубление по форме, близкой к сферической лунки с радиусом R

Вылетевшая из лунки частиц металла охлаждаются окружающей жидкостью и застывают в виде миниатюрных шариков. В результате воздействия серии разрядов поверхность обретает кратерообразный вид с явно выраженными углублениями, перекрывающими друг друга лунками.

В электроискровом режиме большинство ионов, имеющих значительную массу, не успевают достичь отрицательно заряженного электрода и вызвать удаления металла с его поверхности. Поэтому съем металла преимущественно происходит с анода, который выбирают в качестве заготовки. Полярность, при которой заготовка является анодом, называют ***прямой,***и она, как правило, используется при электроэрозионной обработке на электроискровом режиме. Однако этот режим характеризуется низкой производительностью. При электроимпульсном режиме (при большой длительности импульса) преобладающий износ наблюдается на поверхности катода, за счет воздействия на него потока ионов. Поэтому для высокой производительности ЭЭО в качестве заготовки следует принимать катод и такая полярность будет называться обратной.

В общем случае однократный акт удаления металла в процессе электроэрозионной обработки состоит из трех основных стадии.

Первая стадия – пробой межэлектродного промежутка в результате образования локальной зоны с высокой напряженностью поля, которая может достигать десятка МВт/м. Под действием разряда происходит ионизация промежутка между электродами 1 и 2, как показано на (рис. 1.96).

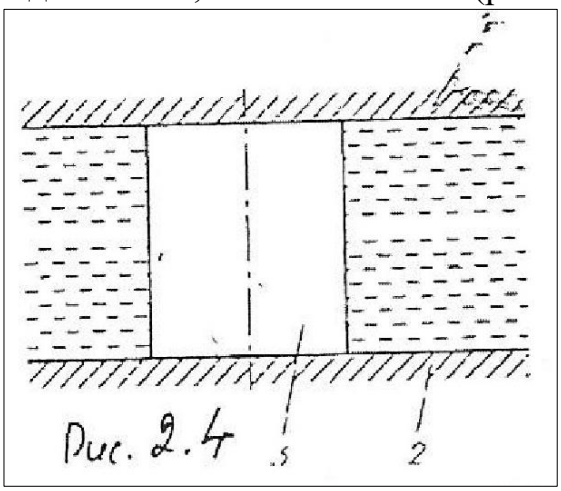


Рис.1.96. Ионизация промежутка между электродами 1 и 2

Через который между ними начинает протекать электрический ток, и образуется канал проводимости 3. Он представляет собой довольно узкую цилиндрическую зону, замкнутую нагретым веществом. Скорость нарастания силы тока в канале проводимости достигает сотен кА/с. В результате на границах канала происходит плавление металла и образуются лунки, по форме близкие к сферической.

Вторая стадия – образование около канала проводимости газового пузыря из паров жидкости и металлов. В результате их высокого давления канал проводимости стремится расшириться, сжимая окружающую его газовую фазу. При этом граница канала проводимости движется в радиальном направлении с высокой скоростью (15-200 м/с) и на наружной границы образуется фронт уплотнения, в котором давление скачкообразно изменяется от исходного в жидкости до высокого его значение на границе $P_ф$. (рис. 1.97).

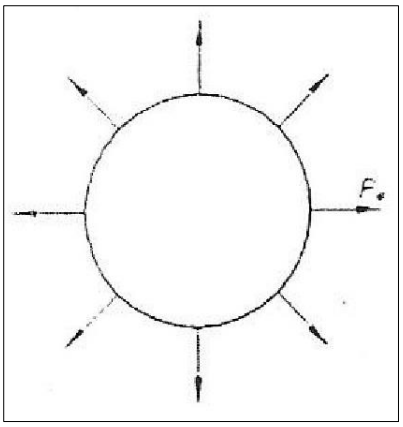


Рис.1.97.

Третья стадия – прекращение протекания тока и отрыв ударной волны от газового пузыря и продолжением его расширением по инерции. В межэлектродном промежутке (рис. 1.98) в начале этой стадии жидкий металл 2 располагается в углублениях электродов 1 и 6; газовый пузырь 3 внутри которого находятся пары 4 металлов заготовки и инструмента; жидкий диэлектрик 5.

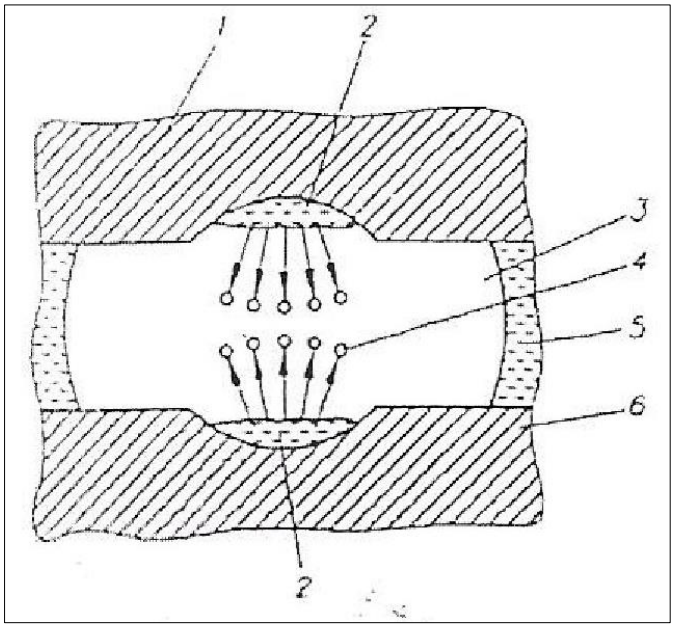


Рис.1.98. Схема межэлектродного промежутка

Когда газовый пузырь достигнет наибольшего размера, давление внутри него резко падает. При этом в лунках расплавленный металл вскипает и выбрасывается в межэлектродный промежуток.

Основные технологические показатели процесса электроэрозионной обработки (производительность, точность и качество поверхности) зависят от количества металла, выплавленного из лунки за один импульс. Это количество определяется энергией импульса A_U, которое можно представить, как работу электрического тока, определяемого произведением силы тока I на напряжение U за время τ_U протекания импульса. Энергия импульса может быть представлена:

$$A_U = \int_0^{\tau_u} IUd\tau.$$

Для технологических целей установки требуемых параметров станка приближенное рассчитанное значение A_U по следующей формуле:

$$A_U = I_{\text{ср}} U_{\text{ср}} \tau_U,$$

где $U_{ср}$= (0,5 - 0,75)U_0

U_0 – напряжение холостого хода при разомкнутых контактах, которое легко контролировать в процессе обработки.

При электроискровом режиме: U_0=40-180 В.

При электроимпульсном режиме: U_0=18-36 В, $I_{ср}$= (0,5 - 0,75) $I_к$, где $I_к$ – ток короткого замыкания.

При черновой обработке $I_к$=20-120А, а при чистовой – $I_к$=0,5-5А.

Длительность импульсов τ_U обратно пропорциональна частоте f их следования. Т.к. между импульсами имеются паузы, то учитывается скважность q, которая является отношением периода T следования импульсов к их длительности τ_U:

$$q = \frac{T}{\tau_U}, (q > 1).$$

Принимая во внимание, что f=1/T, то длительность импульса:

$$\tau = \frac{1}{qf}.$$

Длительность импульса зависит от обрабатываемого материала и режима обработки. При электроэрозионной обработке используются импульсы различной формы (рис. 1.99), но одной полярности (униполярные).

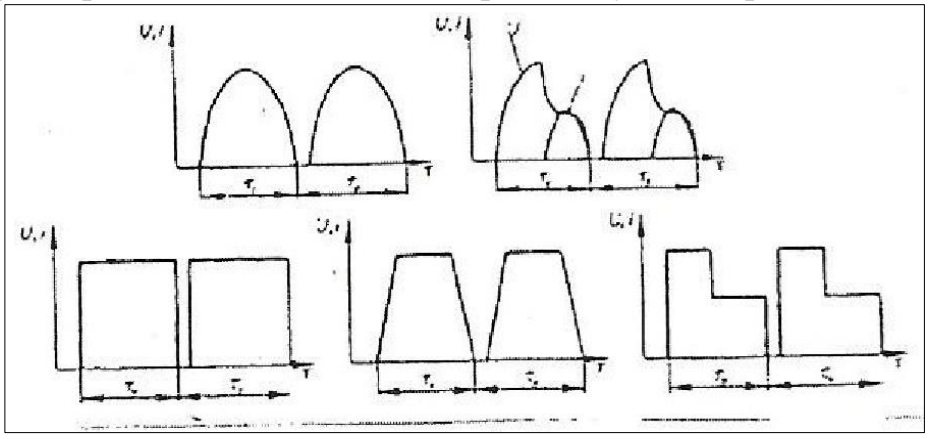


Рис.1.99. Импульсы различной формы

Форма импульсов подбирается такой, чтобы получить наибольшую производительность обработки электрода-изделия.

1.13.3. Основные технологические схемы ЭЭО

Рассмотрим следующие технологические схемы ЭЭО.

Прошивание – удаление металла из полостей, углублений, отверстий, пазов, наружных поверхностей. На (рис. 1.100) представлены схемы формообразования углубления (а) и фасонного стержня (б).

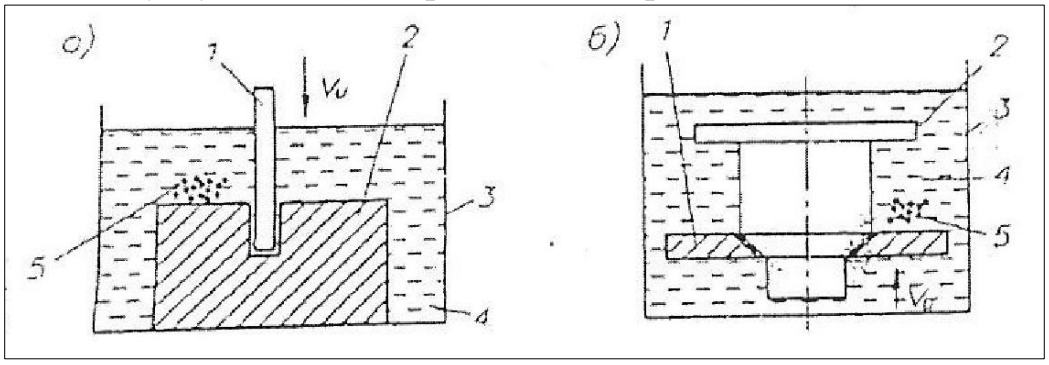


Рис.1.100. Схемы формообразования углубления (а) и фасонного стержня (б).

Электрод-инструмент 1 поступательно перемещается к заготовке 2 со скоростьюV_U. Оба электрода помещены в ванну 3 с диэлектриком 4. Продукты обработки 5 выбрасываются в межэлектродный промежуток и оседают на дно ванны. С помощью прошивания можно получать поверхности как с прямой, так и с криволинейной осью.

Основных два варианта прошивания:

- прямое копирование: электрод-инструмент над заготовкой (а);
- обратное копирование: заготовка над электродом-инструментом (б).

В втором случае движение подачи может осуществлять заготовка. Электроэрозионное шлифование, схема приведена на (рис. 1.101).

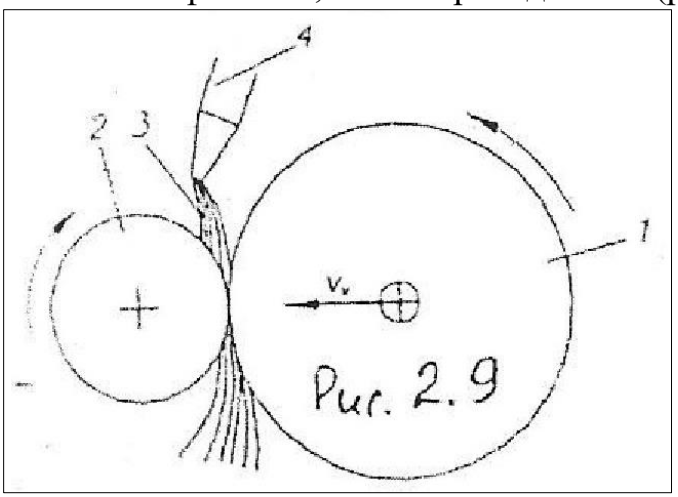


Рис.1.101. Электроэрозионное шлифование

Она аналогична схеме традиционного круглого наружного шлифования с той только разницей, что вместо шлифовального круга применяется металлический электрод-инструмент 1 в форме диска. Он совершает вращательное и поступательное движение к заготовке 2 со скоростью V_U (механический контакт отсутствует). Диэлектрическая жидкость 3 подается в МЭП поливом из насадки 4. При обработке заготовок небольших размеров процесс может осуществляться в ванне, заполненной рабочей жидкостью. Применяется для обработки магнитно-мягких материалов.

Разрезание профильным и не профилированным инструментом. Оно включает разделение заготовок на части – отрезание – и получение непрямолинейного контура – вырезание, которое выполняется только не профилированным электродом-инструментом.

Схема этих процессов показана на (рис. 1.102).

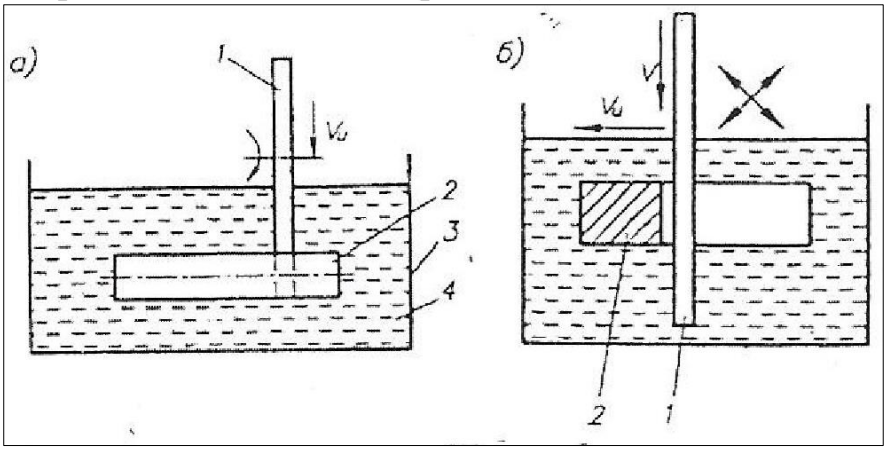


Рис.1.102. Схема разрезание профильным и не профилированным инструментом

При разрезании (а) профильный электрод-инструмент может быть выполнен в виде диска или пластины. Так вращающийся металлический диск-электрод 1 перемещается к заготовке 2 со скоростью V_U и в плоскости вращения вдоль детали. Обработка осуществляется в ванне 3, заполненной

диэлектрической жидкостью 4. Если разрезание выполняется пластиной с одним поступательным перемещением ее к заготовке, то это будет прошивание.

В случае применения не профилированного электрода (б) инструмент 1 выполняют в форме круглой проволоки диаметром 0.02-0.3 мм или тонкого стержня, которые могут перемещаться в различных направлениях со скоростью V_U в любой части заготовки 2. Для устранения влияния износа электрода инструмента на точность прорезаемых пазов проволоку постоянно перематывают вдоль ее оси со скоростью V. Разрезание осуществляют в ванне с диэлектрической жидкостью.

Электроэрозионное уплотнение. Оно включает в себя легирование и наращивание поверхности и осуществляется, как правило, на воздухе. в этом случае частицы расплавленного металла инструмента не успевают остыть и оседают на поверхности заготовки образуя на ней слой сплава, насыщенный легированными элементами электрод инструмента либо легированными компонентом из состава рабочей среды. помимо этого нанесенный на заготовку слой оказывается закаленным до высокой твердости, что обеспечивает износостойкость.

1.13.4. Производительность ЭЭО

За счет многократного повторения импульсов можно удалить слой металла по всей обрабатываемой поверхности, причем для поддержки процесса необходимо постоянно сближать электроды. производительность процесса ЭЭО оценивается отношением объема или массы удаленного с заготовки металла ко времени обработки. При вырезании с использованием не профилированного электрод-инструмента оценивают отношение площади боковой поверхности паза ко времени обработки.

При неизменных условиях обработки глубина лунки, получаемой на заготовке после каждого импульса зависит от свойств обрабатываемого материала. следовательно, различные металлы по - разному обрабатываются электроэрозионный методом, то есть имеют различную обрабатываемость. обрабатываемость ЭЭО, как и при механической обработке принято оценивать массы и снятого исследуемого металла к массе металла, снятого с заготовки из стали 45 при одинаковых условиях обработки. к примеру, вольфрам при прямой полярности имеет коэффициент обрабатываемости 0,7, молибден - 0,8, магний - 2,5.

1.13.5. Качество поверхности при ЭЭО

После ЭЭО поверхность приобретает характерные неровности, а приповерхностные слои претерпевают физико-химические изменения. В процессе электроэрозионной обработки удаление металла с заготовки происходит за счет серии импульсов, воздействующих на участки поверхности. При этом форма и размеры лунки будут отличаться от параметров углубления после единичного разряда. Иллюстрируется на схеме, приведенной на (рис. 1.103).

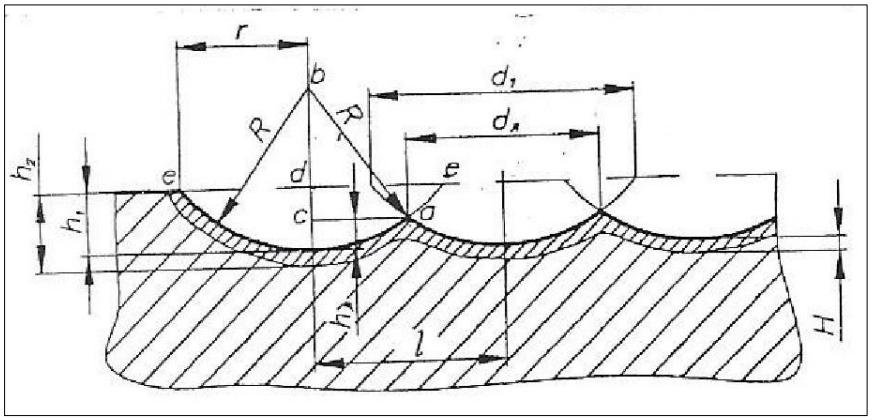


Рис.1.103. Углубления после ЭЭО

Здесь показано изменение диаметра $d_л$ и глубины $h_л$ лунки по сравнению с теми же параметрами (d_1, h_1) после единичного разряда. Эта разница будет зависеть от расстояния l между центрами соседних лунок. Для оценки взаимного влияния импульсов пользуются коэффициентом перекрытия:

$$\beta = \frac{l}{d_л}$$

Размеры полученных на обрабатываемой поверхности луны зависит от энергии импульса и материала электрода.

При электроэрозионной обработке нарушенный поверхностный слой формируется за счет части расплавленного металла, оставшегося на поверхности лунки, и прилегающего к ней слоя металла со структурными изменениями из-за быстрого нагрева и охлаждения материала.

На (рис. 1.104) показана схема строения поверхностного слоя после электроэрозионной обработки.

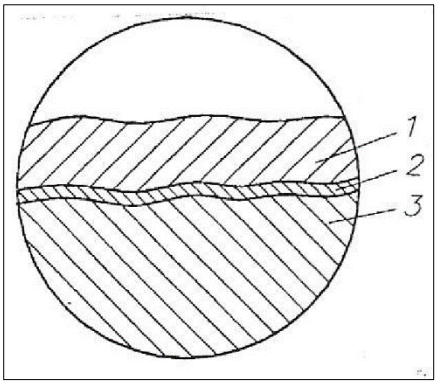


Рис.1.104. Схема строения поверхностного слоя после электроэрозионной обработки

Он состоит из так называемого белого слоя 1, в котором имеют место химико-термические превращения; переходного слоя 2, в котором происходят только термические изменения и под которым располагается неизменный металл 3 заготовки. Измененная зона, образуемая слоем 1, содержит продукты диэлектрической среды, в частности, углерод и элементы, входящие в состав электрода-инструмента.

Как известно, состояние поверхностного слоя деталей в значительной степени определяет ее эксплуатационные показатели. в частности, на износостойкость, коррекционную прочность и другие. после ЭЭО поверхностный слой приобретает свойства, по - разному влияющие на эксплуатационные свойства деталей. так, положительным является повышения твердости поверхности при сохранении вязкой сердцевины, что повышает износостойкость поверхности.

На (рис. 1.105) показана фотография единичной лунки.

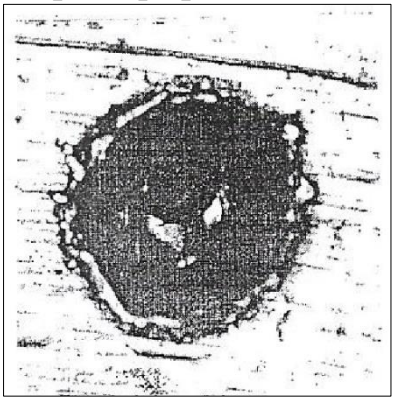


Рис.1.105. Фотография единичной лунки

На (рис. 1.106) представлена совокупность лунок, которые перекрывают друг друга.

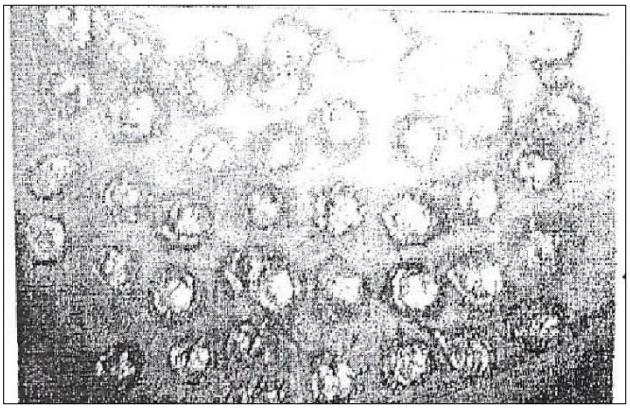


Рис.1.106. Совокупность лунок

Наличие на поверхности большого количества лунок при их плавном сопряжении за счет перекрытия благоприятно сказывается на условия удержания смазки между трущимися поверхностями.

К недостаткам следует отнести возможность появления трещин на поверхности, формирование на поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, а также трудности получения поверхностей с малой шероховатости.

При формировании единичной лунки в результате выброса жидкого металла из нее по краю лунки образовываются наплывы застывшего металла, выходящий за исходами контур поверхности. (рис. 1.107)

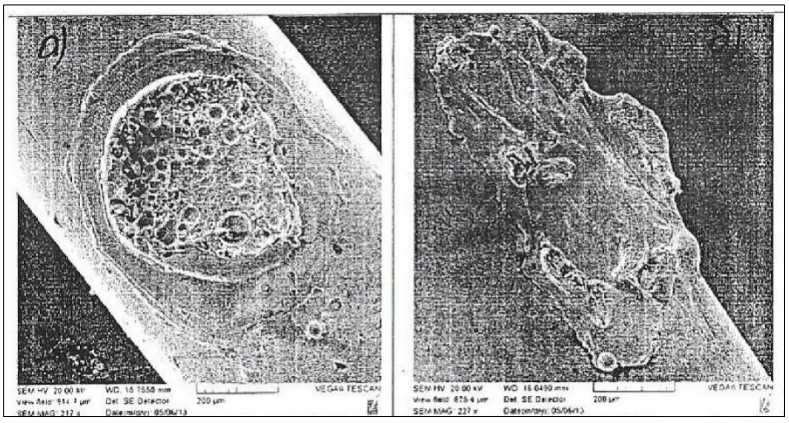


Рис.1.107 Наплывы застывшего металла

Оказалось, что эти наплывы материала можно рассматривать как своеобразные режущие деформирующие элементы, позволяющие осуществлять обработку материалов, твердость которых ниже твердости металла от наплыва.

1.13.6. Некоторые технологические процессы с применением ЭЭО

Удаление обломков инструмента с помощью ЭЭО при выполнении сборочных операций осуществляется сверление крепежных отверстий непосредственно при сборке. В случае поломки возникают значительные проблемы с удалением этого обломка для осуществления дальнейшей сборки.

На (рис. 1.108), показано в поперечном сечении положение метчика заломанного в отверстии.

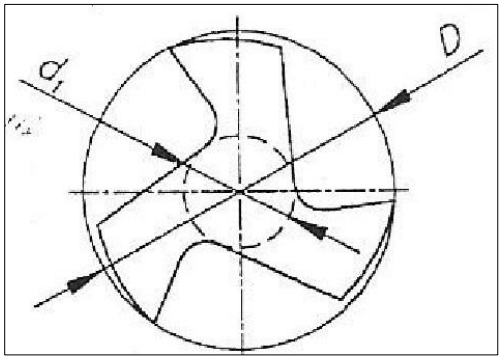


Рис.1.108. Положение метчика, в поперечном сечении, заломанного в отверстии

В этом случае с помощью цилиндрического электрода-инструмента осуществляется прошивания (обработку) заломанной части метчика. После завершения прошивания отверстия, оставшееся и уже не связанные между собой, части метчиков или сверл, легко удаляются из детали.

Когда необходимо удалить обломившуюся часть шпильки или болта из резьбового отверстия, то в ней прошивают квадратное или шестиугольное углубление. Затем в полученное углубление вставляют специальный ключ с рабочей частью, обратной форме углубления и вывертывают обломок, восстанавливая деталь.

На (рис. 1.109) показана схема окончательной обработки прецизионных отверстий.

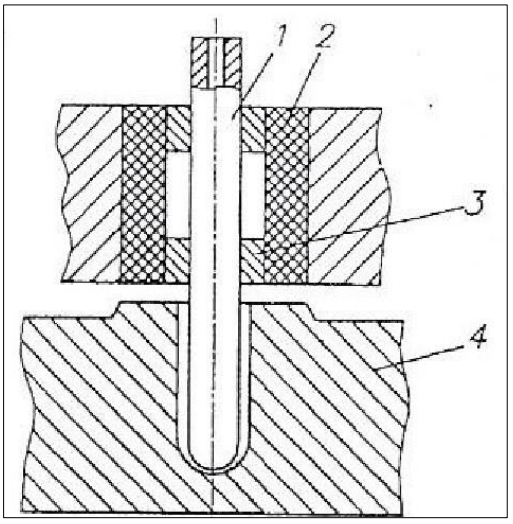


Рис.1.109. Схема окончательной обработки прецизионных отверстий

Для получения окончательного размера прецизионного отверстия электрод-инструмент 1 подают через кондукторную втулку 2, которую выполняет из диэлектрика. Для снижения трения в нее запрессовывают кольца 3, которые могут быть из электропроводных или электроизоляционных материалов. С целью снижения погрешностей по сечению обрабатываемого отверстие, электрод-инструменту сообщают вращательное движение вокруг его оси, при этом втулка должна точно базироваться относительно заготовки 4.

При прошивании глубоких цилиндрических отверстий основная задача заключается в поддержании процесса при значительном внедрении электрод-инструмента в заготовку, когда условия эвакуации продуктов затруднено.

При прошивании отверстий, имеющих L/d< 20 используют электроды-инструменты в виде трубки из меди, латуни, графитовых материалов. Наличие отверстия позволяет прокачивать рабочую жидкость и сократить время обработки, исключив периодическое удаление инструмента из обрабатываемого отверстия.

Кроме того, при обработки отверстий, где L/d< 40 необходимо в процессе обработки удалять керн остающийся на заготовке внутри трубчатого электрод-инструмента. С этой целью используют трубки 1, внутрь которых вставлены детали 2 с нарезанным спиральным каналом, по которому в зону обработки подводится рабочая жидкость. (рис. 1.110)

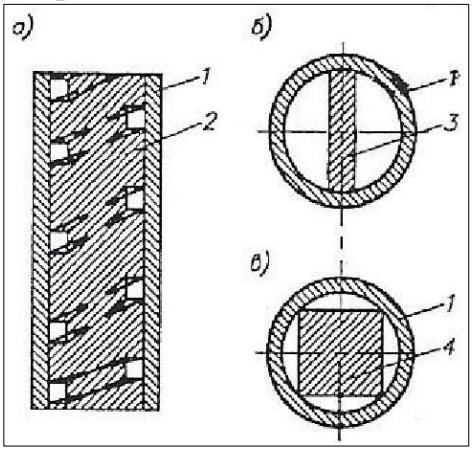


Рис.1.110. Спиральные каналы, по которым в зону обработки подводится рабочая жидкость

Вращение электрода-инструмента в этом случае не обязательно. Помимо нарезной детали в трубку 1 можно вставлять пластинку 3 (б) или квадратный стержень 4 (в). При этом в процессе обработки электрод-инструмент вращают.

Отверстия диаметром менее 1 мм выполняют в форсунках, распылителях, сетках и т.д. При диаметре отверстия d< 0,6 - 0,7 мм используют цельные электроды из латунной или вольфрамовой проволоки 1. (рис. 1.111)

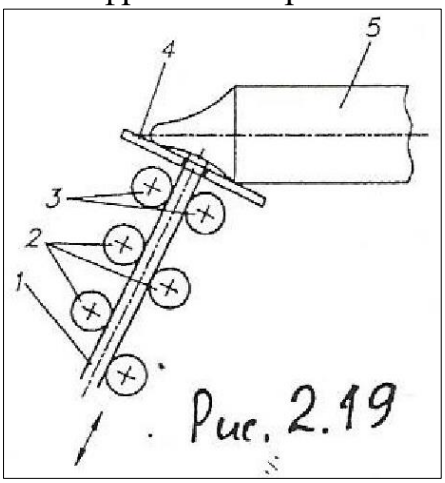


Рис.1.111. Цельные электроды из латунной или вольфрамовой проволоки

Электрод подают в зону обработки через кондукторные втулки 4 из рубина или других твердых диэлектриков. К заготовке 5 проволока перемещается с помощью подающих роликов 3, а система роликов 2 служит для правки электрода-инструмента. В данном случае реализуется электроконтактный способ ЭЭО, за счет сообщения проволоке колебательного движения вдоль оси.

Для обработки отверстий диаметром d< 0,1 мм в качестве электрода-инструмента используют вольфрамовую проволоку, покрытую слоем меди. Такое покрытие повышает жесткость электрода-инструмента и облегчает токоподвод к нему. Перед обработкой слой меди на заходной части электрода-инструмента обрабатывают на конус.

Для этого его помещают в ванну с проводящим раствором и вынимают с постоянной скоростью. За счет большего времени пребывания в ванне конец проволоки на чем образуется конус. Отверстие указанного диаметра осуществляют в два перехода. (рис. 1.112)

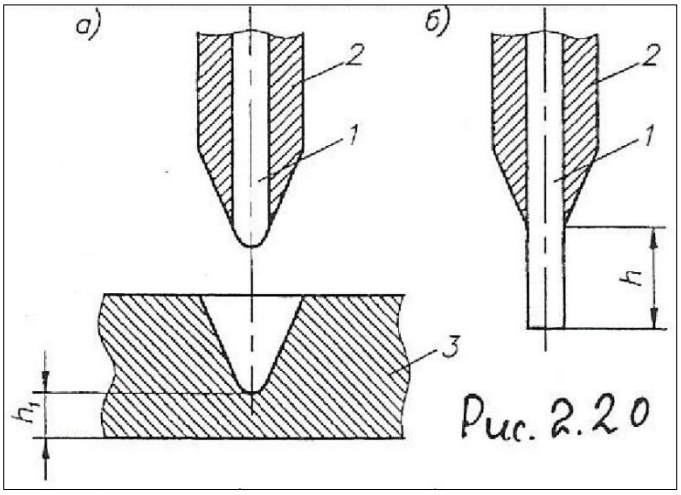


Рис.1.112. Получения отверстия

В начале обработанное отверстие, полученное в заготовке 3 – заходной конус. После этого электрохимическим способом стравливают конец проволоки на длину проволоки h, равное $2h_1$, где h_1 – длина не прошитого участка заготовки. После этого прошивают на полную глубину.

Прошивание различных соединительных каналов в корпусах гидро- и пневмоаппаратуры.

Получение таких каналов представляют собой трудно выполнимую задачу при исполнении традициональными методами мехобработки.

В том числе, когда форма поперечного канала некруглая, то его можно получить только с помощью применения электрофизических методов и ЭЭО.

На (рис. 1.113) показана схема для определения размеров электрод-инструмента при прошивании соединительного канала.

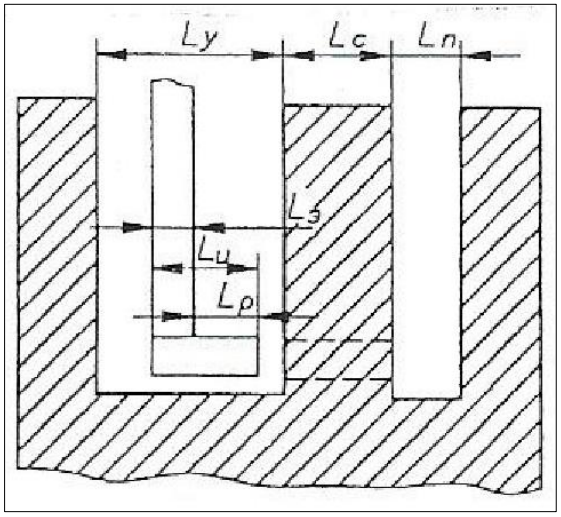


Рис.1.113. Схема для определения размеров электрод-инструмента

Для осуществления такой операции необходимо чтобы размер L_yодного из углублений и длина L_p рабочей части электрод-инструмента были больше толщины стенки L_cв котором необходимо получить канал. Если это условие не выдерживается, то можно применять электрод-инструмент телескопической конструкции.

1.14. Технология поверхностных покрытий.

1.14.1. Двойная закалка.

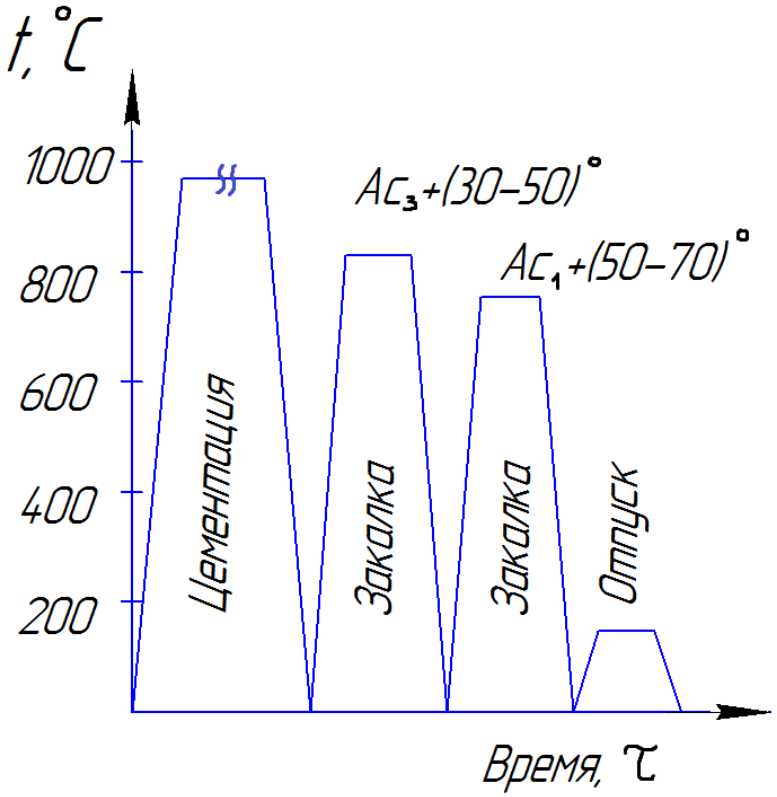


Рис.1.114. Схема двойной закалки

Температура первой закалки – 850-900°С, т.е. на 30-50°С выше точки Ac3 стали, подвергаемой цементация. Она обеспечивает полную перекристаллизацию и получение мелкого зерна в сердцевине детали, а также устраняет цементитную сетку в поверхностном слое.

Температура второй закалки на 50-70°С выше точки Ac1, т.е. оптимальная для эвтектоидных и заэквтектоидных сталей. Эта закалка обеспечивает структуру мелкоигольчатого мартенсита цементованного слоя, что ведет к повышению прочности. Такая технология характерна для наиболее ответственных деталей.

1.14.2. Одинарная закалка

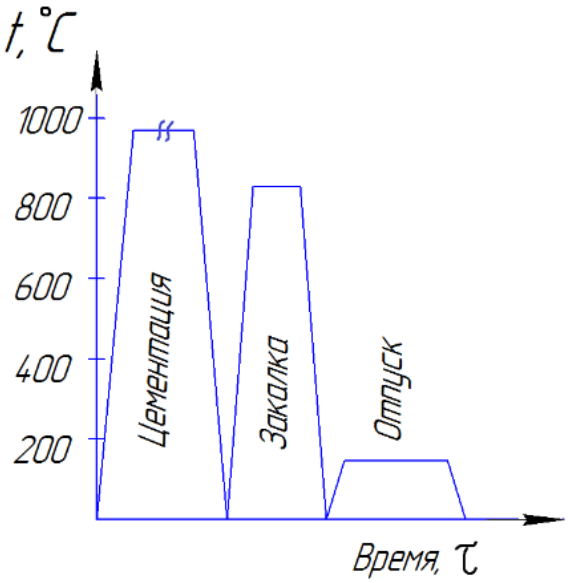


Рис.1.115. Схема одинарной закалки

При закалке структура сердцевины детали не меняется: зерно не измельчается. Закалка выполняется от температуры Ac_1 + (50-70)°С, что способствует получению мелкоигольчатого мартенсита в цементованном слое.

Закалка с подстуживанием с цементационного нагрева

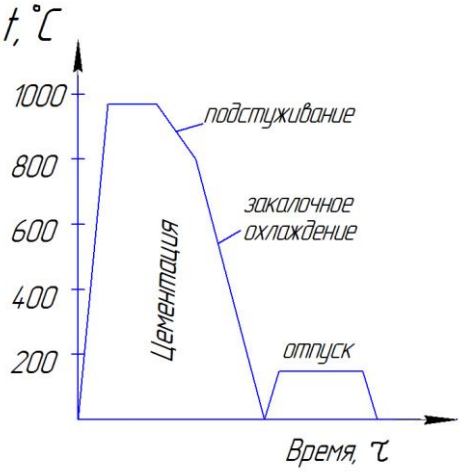


Рис.1.116. Схема закалки с подстуживанием с цементационного нагрева

Закалка от температуры Ac_1 выполняется непосредственно от цементационного нагрева. При этом производится подстуживание от температуры цементации до температуры закалки, а затем закалочное охлаждение. Структура характеризуется крупнозернистым строением. Детали имеют пониженные прочностные свойства; их используют для работы в условиях износа при отсутствии высоких статических и динамических нагрузок.

1.14.3. Азотирование.

Технологический процесс изготовления детали, упрочняемой азотированием

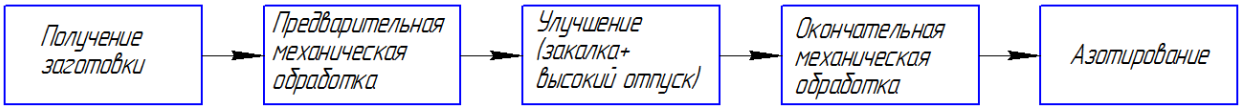


Рис.1.117. Схема технологического процесса изготовления детали – азотированием

Азотирование выполняют в среде диссоциированного аммиака при 500-520°С. Процесс продолжителен – слой толщиной 0,3 - 0,6 мм образуется за 24 – 60 часов, т.к. диффузия при таких относительно низких температурах замедлена. Для сокращения времени азотирование выполняют двухступенчатым: сначала при 500 -520°С, а затем при 540- 560°С.

При азотировании (в отличие от цементации) деформации деталей малы или практически отсутствуют; оно является окончательной операцией в технологическом цикле изготовления детали и выполняется после шлифовочных операций.

Азотированию подвергают среднеуглеродистые легированные стали, в состав которых входит хром, ванадий, алюминий. Высокая твердость поверхностных слоев определяется твердостью нитридов, образующих в поверхностных слоях деталей. Максимальная твердость до 1200 НУ достигается на сталях, содержащих алюминий – нитралоях (38Х2МЮА, 38Х2Ю); на сталях без алюминия (40Х, 40ХФА и др.) достигается твердостью 500-700 НУ.

Азотирование проводят в штатных и камерных печах периодического действия, а также в толкательных и карусельных печах непрерывного действия, оснащенных установками для азотирования.

Для деталей, подвергнутых азотированию, характерно: высокая твердость поверхностных слоев (выше, чем при цементации), износостойкость и задиростойкость при сохранении высокой прочности и вязкости сердцевины детали. Длительность процесса определяет его применение в условиях крупносерийного и массового производства, когда одновременно выполняется упрочнение большого количества деталей.

1.14.4. Термомеханическая обработка (тмо).

Сочетание в едином технологическом процессе деформационных и структурных превращений металла, позволяющее получить эффект упрочнения от обоих способов.

Применительно к стали ТМО, в основном, заключается в наклепе аустенита и его последующем превращении. При высокотемпературной обработке (ВТМО) деформацию аустенита выполняют при температурах выше температуры рекристаллизации – практически выше кристаллических точек.

При низкотемпературной обработке (НТМО) деформацию выполняют при температурах ниже температуры рекристаллизации, т.е. ниже A_1 в области неустойчивого переохлажденного аустенита. После деформации аустенит подвергают закалке или изотермическому распаду в бейнитной или перлитной области.

При механико-термической обработке пластическая деформация выполняется после термической.

ТМО подвергают легированные стали с устойчивым переохлажденным аустенитом, при этом достигается высокая прочность при сохранении высоких параметров пластичности и ударной вязкости.

После ТМО детали имеют пониженную обрабатываемость резанием, вследствие высоких механических характеристик металла. Предпочтение для применения ТМО имеют детали простой формы, которые можно изготовить методами пластической деформации.

1.14.5. Термическая обработка чугуна.

Операции термической обработки, характерные для чугунов, - стабилизирующие и графитизирующие; упрочняющая обработка аналогична применяемой для стальных деталей.

Чугунные заготовки получают методом литья. В промышленности в основном используют чугуны со свободным углеродом в виде графита: серый – с пластинчатым графитом, высокопрочный – с шаровидным, ковкий – с хлопьевидным. В белых чугунах графит отсутствует, углерод связан в карбиде Fe_3C.

Характерные для чугунов виды термической обработки – графитизирующие (при этом происходит распад Fe_3C на аустенит или феррит и свободный углерод) и стабилизирующие для снятия внутренних напряжений.

Графитизирующий отжиг используют для получения ковкого чугуна путем отжига белого, а также ликвидации отбела и завершения графитизации в серых и высокопрочных чугунах. Отбеливание – образование белого чугуна в тонких сечениях или поверхностных слоях отливок из-за быстрого охлаждения. Белый чугун имеет высокую твердость и плохую обрабатываемость резанием.

Стабилизирующие операции выполняются для снижения или устранения внутренних напряжений, причина появления которых – неодинаковая скорость охлаждения отдельных частей отливки в процессе ее получения.

Технология упрочняющей термической обработки чугунных деталей идентична применяемой для стальных. Используются нормализация, различные виды закалок – непрерывная, изотермическая и др. Весьма распространены операции поверхностного упрочнения – закалка ТВЧ, лазерная, характерные для крупногабаритных деталей (например, станины станков, где упрочнению подвергают направляющие).

Для упрочнения поверхностных слоев могут быть использованы операции ХТО, по технологиям, применяемым для стальных деталей. Наиболее типично азотирование, используют и другие виды ХТО.

1.14.6. Маркирование деталей

Маркирование деталей– процесс нанесения цифр, букв, обозначений и другой информации. Глубина наносимого знака не превышает 1 мм, чаще всего 0,1-0,3 мм.

По сравнению с механическим маркированием электроэрозионный способ позволяет избежать усилий, вызывающих деформацию и сколы деталей, а также исключить последующую зачистку мест маркирования от металла, выдавленного из углублений.

Особенности электроэрозионного маркирования заключаются в следующем:

– операцию выполняют за один ход инструмента;

– возвратно-поступательное перемещение электрода-инструмента или прокачку рабочей жидкости через МЭП не используют;

– маркирование проводят как до закалки заготовки, так и после нее;

– операцию нанесения информации выполняют по многоэлектродной схеме сразу для всей надписи.

На (рис. 1.118) показаны электроды 1, 2, 3 для маркирования цифр.

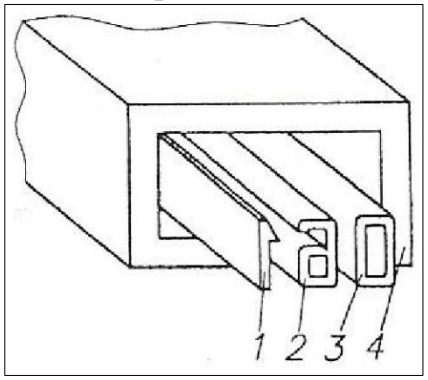


Рис.1.118. Электроды 1, 2, 3 для маркирования цифр

Электроды закреплены в кассете 4, что позволяет одновременно наносить всю информацию. При маркировании криволинейных поверхностей электроды-инструменты должны быть обработаны с рабочей стороны по соответствующему радиусу кривизны, что чаще всего осуществляют за счет износа электродов-инструментов при маркировании пробных деталей или их образцов.

Продолжительность нанесения информации глубиной до 0,2 мм составляет порядком нескольких десятков секунд. Как правило жидкость наносится на обрабатываемую поверхность.

Для шлифования мелких отверстий, к примеру, в твердосплавных фильерах, может применяться не профилированный проволочный электрод. (рис. 1.119)

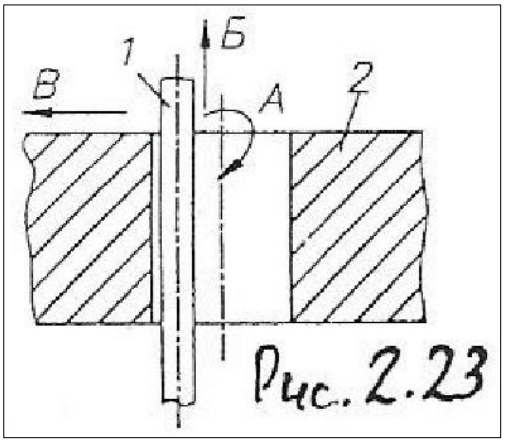


Рис.1.119. Схема шлифования

Электрод-инструмент вводят в предварительно вскрытое отверстие заготовки 2 и начинают вращать, как показано стрелкой *А.* Электрод 1 и заготовку 2 подключают к генератору импульсов. Перемещая проволоку перпендикулярно ее оси (по стрелке В), можно регулировать диаметр обрабатываемого отверстия, а за счет непрерывной перемотки проволоки (по стрелке Б) удается практически исключить влияние ее износа на точность отверстия.

1.14.7. Размерная электрохимическая обработка материала (ЭХО)

Под размерной электрохимической обработкой (ЭХО) понимают процесс получения из заготовки детали требуемой формы и размеров за счет анодного растворения металла. По сравнению с другими методами электрохимический способ обработки обладает определенными преимуществами:

1) дает возможность обрабатывать любые металлы и сплавы, независимо от их химического состава и особенностей их структуры;

2) в процессе электрохимической обработки инструмент-катод не изнашивается, а сама обработка не влечет за собой появление деформаций или изменения структуры материала, что позволяет рассматривать ее как способ получения неискаженной поверхности.

К недостаткам ЭХО следует отнести значительную эргономичность процесса, громоздкость оборудования, необходимость надежной антикоррозионной защиты и некоторые другие.

1.14.8.1. Механизм анодного растворения

Удаление металла при размерной электрохимической обработке происходит под действием электрического тока в среде электролита без контакта между инструментом и заготовкой. В основе ЭХО лежит явление анодного растворения металлов, которое протекает в различных электролитах (водных растворах хлорида натрия, нитрата натрия и др.).

Рассмотрим детально процессы, проходящие на электрохимической границе фаз.

При растворении в воде многие соли распадаются на катионы (+) и анионы (–). Молекулы воды также поляризуются и располагаются в виде сферы

вокруг какого-то центрального положительно или отрицательно заряженного иона, как показано на (рис. 1.120).

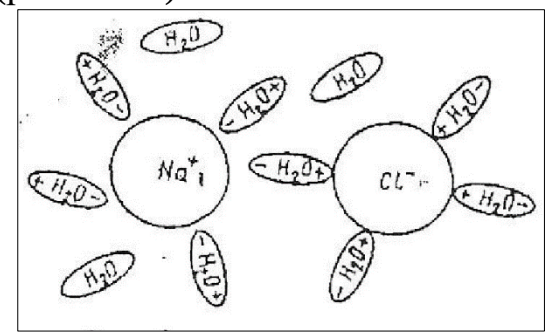


Рис.1.120. Схема расположения молекул воды

В этом случае на поверхности металла возникает положительный заряд и к нему притягиваются отрицательно заряженные ионы из раствора. (рис. 1.121)

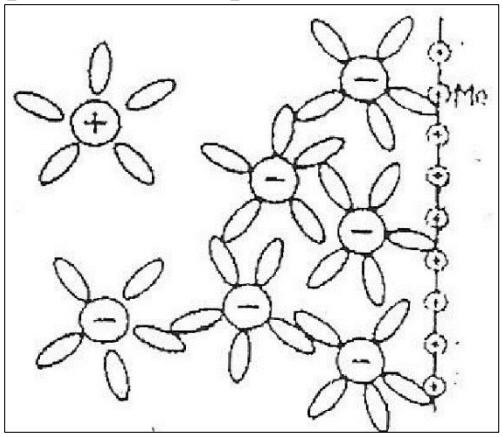


Рис.1.121. Схема расположения молекул на металле

На границе электролита с металлом образуется так называемый двойной электрический слой, свойства которого подобны свойствам конденсатора. Одна обкладка такого конденсатора (+), представляет собой поверхностные заряды в металле (слой положительно заряженных ионов), другая обкладка (–) – отрицательно заряженные ионы в растворе. За счет этого на межфазной границе возникают скачки электрического потенциала. Протекание ЭХО становится возможным, если приложить внешнее напряжение, которое превышает разность $\varphi_а - \varphi_к$:

$$U > \varphi_а - \varphi_к$$

где $\varphi_а$ – скачок потенциала на аноде, $\varphi_к$ – скачок потенциала на катоде.

При подключении электродов к источнику напряжения ионы начинают двигаться в электрическом поле через межэлектродный промежуток от электрода к электроду. В результате реакции на катоде выделяется газ (водород), на аноде – осадок (гидроксид металла) и газ (кислород).

Если на электроде протекает только электрохимический процесс, например, растворение металла, то он описывается законами Фарадея.

Согласно первому закону Фарадея, масса металла m, растворенного с анода, определяется

$$m = \varepsilon Q$$

где Q – количество электричества, прошедшего через электролит, ε - коэффициент пропорциональности, который называют ЭХ эквивалентом.

При использовании постоянного тока количество электричества Q может быть выражено через силу тока I и время прохождения τ:

$$Q = I\tau$$

$$m = \varepsilon I\tau$$

Следует подчеркнуть, что ЭХ эквивалент имеет строго определенные численные значения для каждого элемента. Поэтому ЭХ эквивалент любого сплава можно определить через эквиваленты его компонентов, которые входят в этот сплав.

В практических целях необходимо знать скорость линейного растворения материала заготовки для определения скорости подачи электрода-инструмента. Если массу растворенного материала представить через площадь обрабатываемого участка *F*и перемещение *l* электрода-инструмента к заготовке, то можно записать

$$m = Fl\rho$$

Силу тока можно выразить через площадь участка *F* и плотность тока *i*

$$I = Fi$$

С учетом этого

$$Fl\rho = \varepsilon Fi\tau$$

Если левую и правую части последнего выражения разделить на время τ, то отношение будет представлять скорость линейного растворения материала анода и определяться

$$v = \frac{\varepsilon i}{\rho}$$

Плотность тока по закону Ома может быть выражена через напряжение U, удельную проводимость ψ и величину зазора S между электродами

$$i = \frac{U\psi}{S}$$

При этом в расчет принимается та часть напряжения, которые используются для протекания ЭХ реакции. Сюда не входят показания напряжение на электродах и в токопроводящих цепях. С учетом выражения плотности тока, получим формулу, описывающую скорость анодного растворения:

$$v = \frac{\varepsilon U\psi}{\rho S}$$

Если зазор *S* между электродами не изменяется в процессе анодного растворения, то режим ЭХО стационарный, при переменном зазоре – нестационарный.

Если измерить массу металла, растворенного с анода, то она окажется меньше, чем по формулам. Так как часть количества электричества тратится на побочные реакции на электродах: образование газов, вторичные реакции, то эти потери учитываются коэффициентом, который называют выходом по току η (η<1). Он представляет отношение действительно и теоретически

растворенного вещества и характеризует долю полезного использования тока. Тогда закон анодного растворения может быть записан в виде

$$v = \frac{\varepsilon U \psi \eta}{\rho S}$$

где η=0,5…0,65.

1.14.8.2. Механизм пассивации поверхности металла

На (рис. 1.122) схематически показана зависимость силы тока от напряжения при постоянной площади обрабатываемой поверхности.

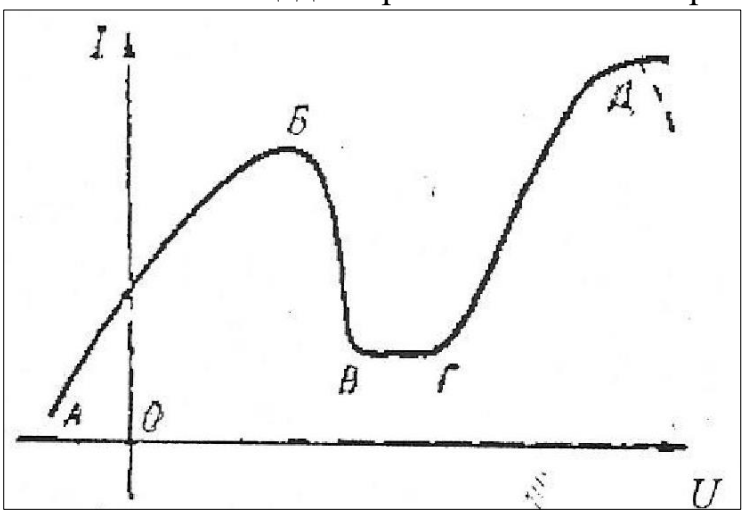


Рис.1.122. Зависимость силы тока от напряжения при постоянной площади обрабатываемой поверхности

На участке АБ с возрастанием напряжения ток увеличивается. Это активная область. Участок АБ характеризует анодное растворение элементов сплава заготовки с низкой валентностью. Сила тока здесь незначительна, и высокой скорости обработки заготовки достичь не удается. Поэтому в ЭХО эту область практически не используют.

На участке БВ возрастание напряжения вызывает снижение силы тока. Наступает пассивация обрабатываемой поверхности, т. е. образование на ней оксидной пленки, обладающей большим сопротивлением.

При дальнейшем увеличении напряжения сила тока сначала остается неизменной (участок ВГ), а затем вновь начинает расти (участок ГД). Этот участок называют областью перепассивации.

Здесь можно получить большую силу тока, и большую скорость растворения заготовки. Этот участок и используют для ЭХО. После точки Дможет начаться новый спад силы тока, т. е. снова возникает пассивация. При дальнейшем увеличении напряжения возможны электрические пробои межэлектродного промежутка.

1.14.8.3. Технологические схемы размерной ЭХО

В настоящее время наибольшее применения нашли следующие технологические схемы:

1.обработка с неподвижными электродами (рис. 1.123.)

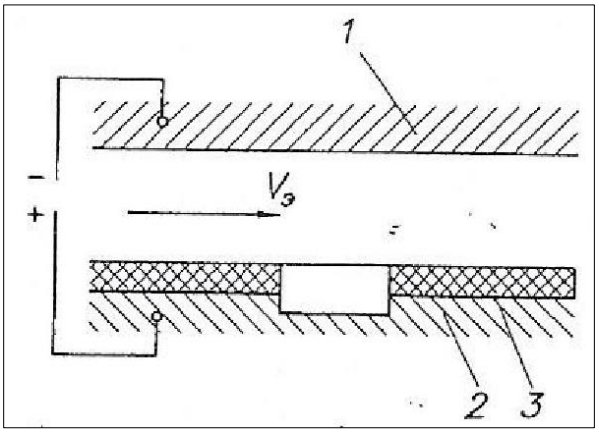


Рис.1.123. Схема обработки с неподвижными электродами

По этой схеме получают местные облегчения в деталях, отверстия в листовых материалах, осуществляют маркирование, удаляют заусенцы, особенно в труднодоступных местах, а также на нежестких деталях, и скругляют острые кромки.

Требуемая форма углубления или отверстия получается за счет нанесения на электроды слоя диэлектрика 3. При этой схеме электрод-инструмент 1 не перемещается к обрабатываемой поверхности. В результате по мере снятия металла с поверхности заготовки 2 величина МЭП возрастает, а скорость $V_э$ прокачки электролита снижается.

2. прошивание полости, углублений, отверстий (рис. 1.124)

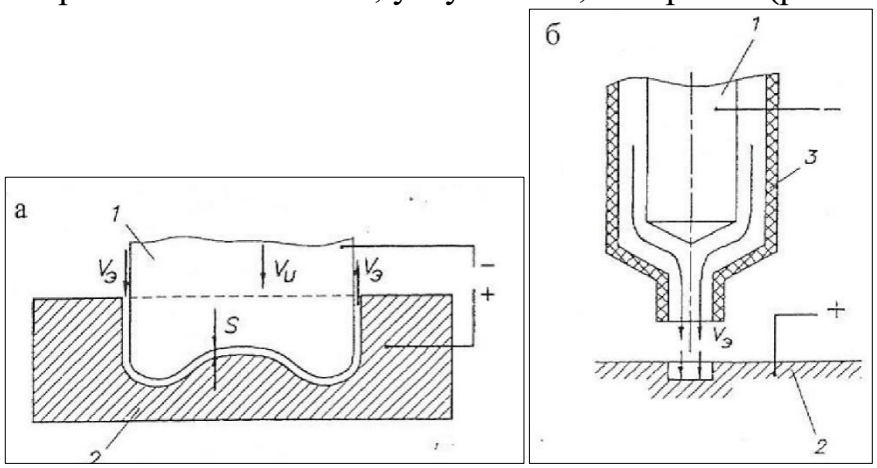


Рис.1.124. Схемы прошивание полости, углублений, отверстий

При такой схеме ЭХО (а)электрод-инструмент 1 имеет одно рабочее движение – поступательное перемещение со скоростью V_u к заготовке 2. За счет системы регулирования зазора в процессе обработки поддерживается постоянная величина межэлектродного зазора S, т.е. имеет место стационарный режим анодного растворения. Через межэлектродный промежуток прокачивают электролит со скоростью $V_э$.

Такую схему ЭХО применяют для изготовления рабочих полостей ковочных штампов, пресс-форм; для прошивания отверстий, пазов; для вырезания заготовок различного профиля.

Разновидностью такой схемы является струйный метод ЭХО (б). Электрод-инструмент состоит из токоподвода 1, омываемого потоком электролита со скоростью $V_э$. Токоподвод помещен внутри корпуса 3 из изоляционного материала. Струя электролита образует токопроводящий канал между токоподводом 1 и заготовкой 2. В зоне контакта жидкости с обрабатываемой поверхностью материал заготовки растворяется и в ней образуется углубление. По мере увеличения его глубины корпус 3 электрода-инструмента сближают с заготовкой 2. Процесс обработки протекает быстро только при высоких напряжениях. С помощью струйного метода получают отверстия диаметром 1,5-2 мм, а также вырезают контуры деталей сложной формы.

3. точение наружных и внутренних поверхностей (рис. 1.125)

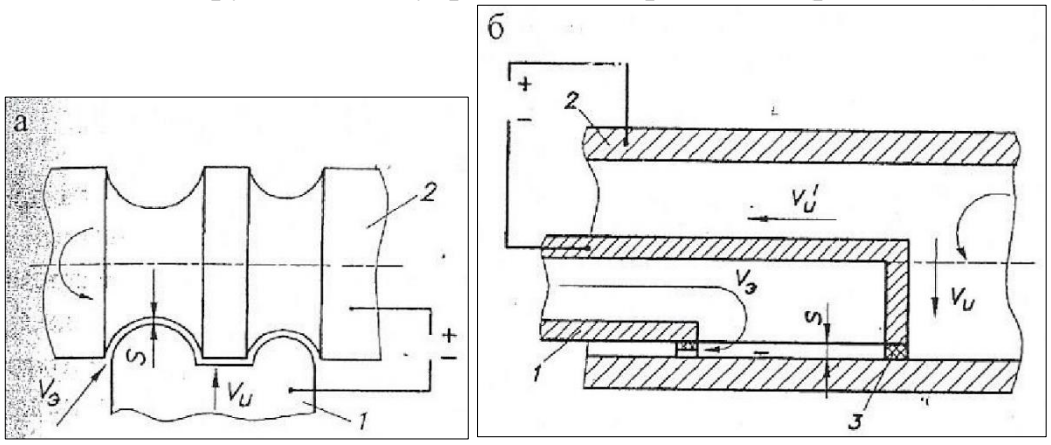


Рис.1.125. Схемы точение наружных и внутренних поверхностей

В этом случае электрод-инструмент 1выполняет роль резца, но в отличие от обработки на токарных станках он не имеет механического контакта с заготовкой 2, а располагается от ее поверхности на расстоянии S межэлектродного зазора. В процессе обработки электрод-инструмент может двигаться со скоростью V_u поперек оси вращения заготовки (а), так и вдоль нее со скоростью V (б). Межэлектродный зазор S поддерживается с помощью диэлектрических прокладок 3, в котором предусматриваются конструкционные элементы (отверстия, пазы), обеспечивающие прокачку электролита.

4. протягивание наружных и внутренних поверхностей (рис. 1.126)

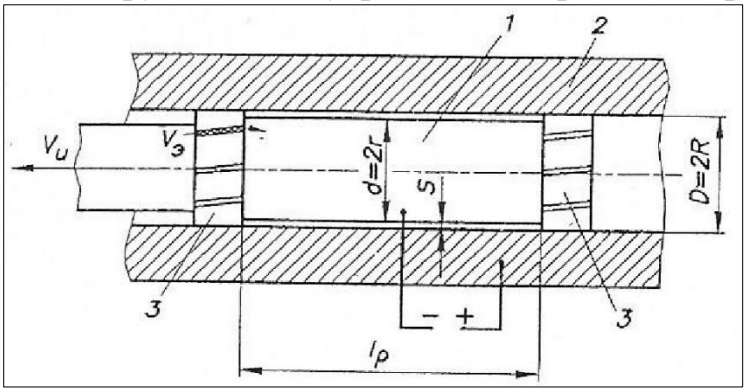


Рис.1.126. Схема протягивание наружных и внутренних поверхностей

Такая схема применяется на заготовках, имеющих предварительно обработанные поверхности, по которым можно базировать электрод-инструмент 1. Его устанавливают относительно обрабатываемой поверхности заготовки 2 с помощью диэлектрических прокладок 3. Электрохимическое протягивание выполняют при продольном перемещении (иногда с вращением) электрода-инструмента со скоростью V_u.

Такую схему ЭХО применяют для чистовой обработки цилиндрических отверстий, для нарезания резьбы, шлицев и винтовых канавок.

5. разрезание заготовок (рис. 1.127)

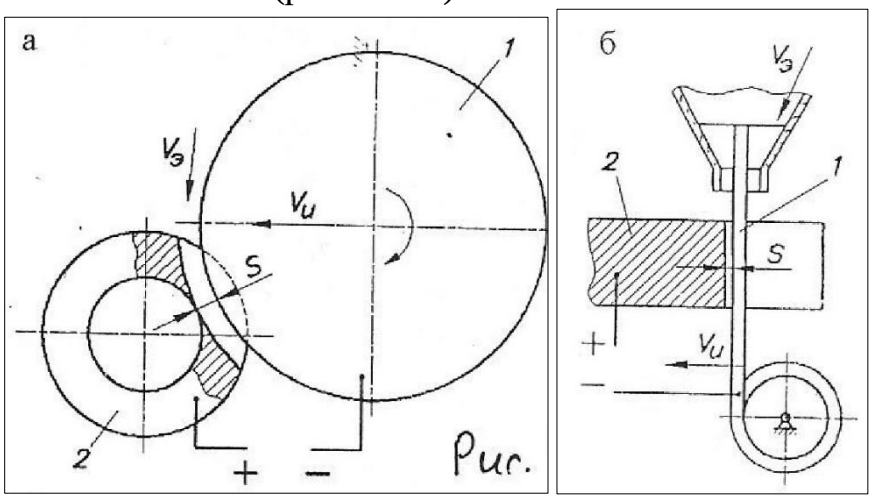


Рис.1.127. Схемы разрезание заготовок

В качестве электрод-инструмента при реализации такой схемы ЭХО могут использовать вращающийся диск 1 (а) или проволоку 1 (б)подают к заготовке 2 со скоростью V_u, сохраняя при этом постоянным зазор S. Кроме разрезания заготовок по такой схеме выполняют пазы, щели, подрезку торцов нежестких деталей.

6. шлифование

На (рис. 1.128) показан вращающийся электрод-инструмент 1 цилиндрической формы.

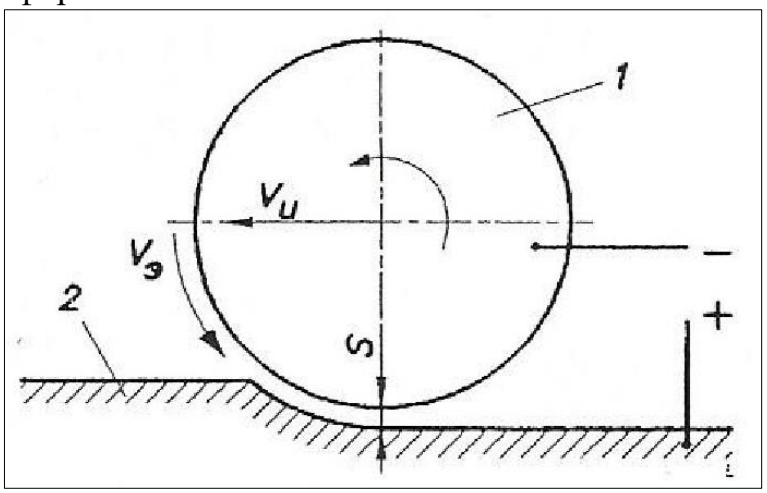


Рис.1.128. Схема шлифования

Он поступательно движется вдоль заготовки 2 со скоростью V_u. Электрохимическое шлифование применяют как окончательную операцию при изготовлении пакетов пластин из магнитомягких материалов, когда при обработке недопустимы механические воздействия, а также для финишной обработки деталей из вязких и прочных сплавов.

1.14.8.4. Технологические показатели размерной ЭХО

Производительность процесса размерной ЭХО оценивается по скорости подачи электрод-инструмента. При обработке по схеме с неподвижными электродами, ее можно оценить по значению средней скорости растворения материала:

$$v_{ср} = \frac{Z}{\tau}$$

где Z – припуск на обработку, τ - время протекания процесса.

При этом на практике $v_{ср}$=1…10 мкм/с. При обработке с управляемой подачей электрод-инструмента $v_и$ составляет от 5 до 100 мкм/с.

На точность размеров и формы детали влияют погрешности электрода-инструмента, погрешности оборудования, погрешности, из-за отклонения режима ЭХО от расчетного, величина припуска на обработку и его неравномерность.

В процессе ЭХО между инструментом и заготовкой отсутствует механический контакт, а удаление материала происходит одновременно по всей поверхности. При этом ограничить растворение на участках, где уже снят весь припуск практически невозможно.

Для обеспечения точности используется метод компенсации измерения параметров путем воздействия на процесс факторов, считающих эти измерения. так если необходимо снизить скорость снятия металла на участке поверхности, то на нем можно увеличить зазор за счет удаления противоположного участка на электрод-инструменте, то есть осуществить его коррегирование.

В качестве примера объяснения коррегирования обратимся к схеме на (рис. 1.129).

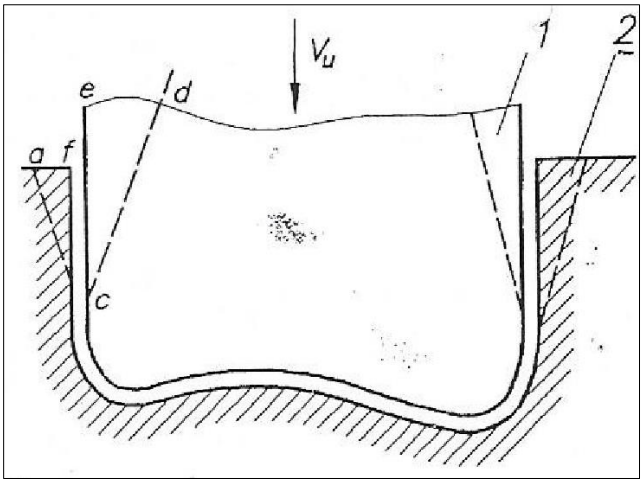


Рис.1.129. Схема коррегирования

На рисунке 1.151 показано прошивания полости, в заготовке 2, с помощью электрод-инструмента 1. Обычно скорость подачи инструмента составляет сотые доли мм/с. Поэтому процесс формообразования глубоких полости составляет десятки минут. Если вертикальная поверхность не покрыта изоляционным материалом, то на участке cf заготовки 2 в течение всего времени обработки происходит анодное растворение и в конце операции деталь будет иметь форму, соответствующую ac. Поэтому в области на боковой поверхности заготовки искусственно увеличивают зазор за счет удаления материала на электроде-инструменте по линии cd.

На сегодня при прошивании отверстии обеспечивается точность 9-10 квалитета. При обработке полостей, при разрезании заготовок – 12-14 квалитет. Точения и шлифования – 8-10 квалитет.

1.14.8.5. Качество поверхности после ЭХО

При ЭХО формирование микрорельефа на поверхности заготовки зависит от структуры ее материала, состава, температуры и скорости прокачки электролита, а также электрических параметров режима обработки.

Чаще всего имеет место межкристаллитное растравливание, которое и определяет шероховатость поверхности. Сказанное поясняется схемой на (рис. 1.130).

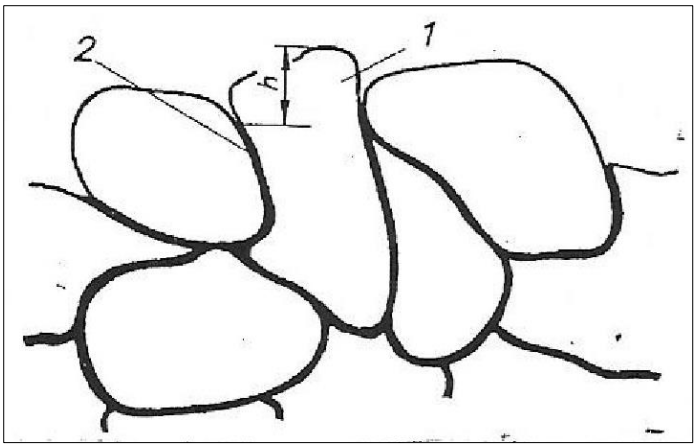


Рис.1.130. Схема межкристаллитного растравливания

Зерна 1 металла, как правило, имеют меньшую скорость растворения, чем материал 2 между ними.В результате на обрабатываемой поверхности возникают углубления размером h. Чем меньше зерно, тем меньше оказывается глубина межкристаллитного растравливания и тем меньше шероховатость поверхности.

При обработке конструкционных сталей Ra=0,32…1,1 мкм, нержавеющих сталей и сплавов Ra=0,32…1,25 мкм, титановые сплавы Ra=1,25…2,5 мкм.

После ЭХО в поверхностном слое может происходить наводораживание поверхности обрабатываемой заготовки. На катоде выделяется водород, который в силу малого значения МЭП может достигать поверхности заготовки.Эффект наводораживание повышает хрупкость металла и снижает усталостную прочность, особенно это проявляется на титане и его сплавах.Для

его предотвращения необходимо обеспечить такую скорость протекания электролита, при котором бы весь водород выносился из МЭП.

В качестве примера на (рис. 1.131) приведена схема прокачки электролита при обработке некруглых и узких пазов.

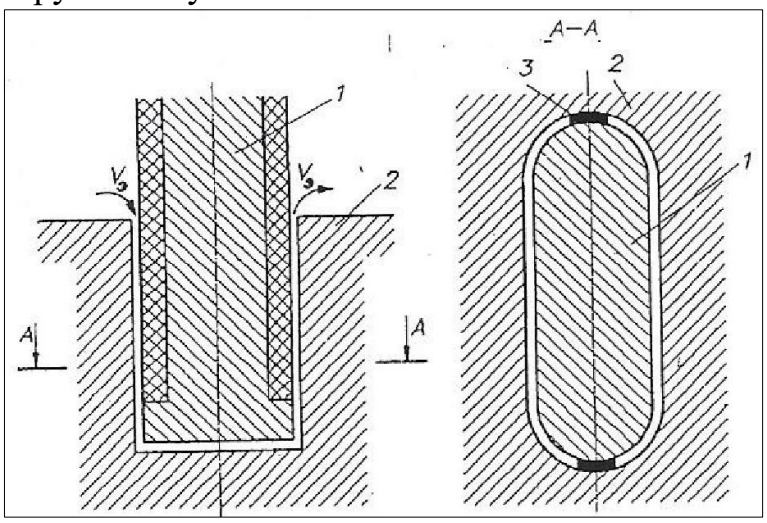


Рис.1.131. Схема прокачки электролита при обработке некруглых и узких пазов.

Тогда зазор между сплошным электродом-инструментом 1 и заготовкой 2 уплотняют по всей глубине отверстия прокладками 3. Электролит подают с одной стороны отверстия, он проходит под торцом инструмента и выходит, с другой стороны.

Технологические возможности размерной ЭХО

С помощью размерной ЭХО можно получить форму поверхностей образование которой другими способами или невозможно либо экономически неоправданно.

Рассмотрим ряд примеров эффективного применения размерных схем ЭХО.

1.***Маркирование деталей*** выполняют по схеме с неподвижными электродами. Необходимая информация переносится на деталь путем копирования профиля на электродах или избирательным растворением металла в прорезях диэлектрического трафарета. На (рис.1.132) приведена схема копирования знаков с помощью которого на деталь наносят цифры.

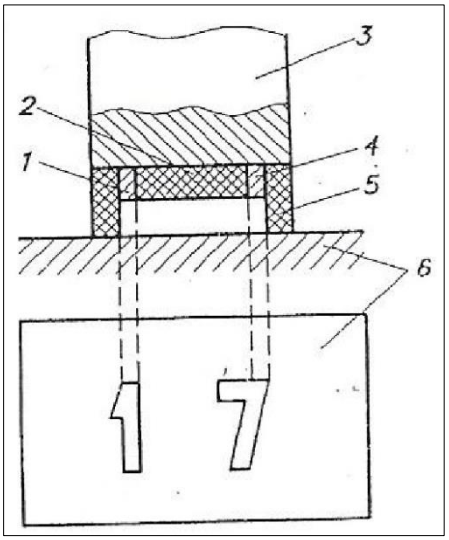


Рис.1.132. Схема маркирования деталей.

При этом знаки 1,4 на инструменте выполнены в зеркальном отображении и закреплены на торцевой части корпуса 3. Пространство между ними заполнено диэлектриком 2, который предохраняет материал детали от растворения на участках между знаками. Начальный зазор между рабочей частью наносимых знаков 1,4 и заготовкой 6 обеспечиваются диэлектрическими прокладками 5. В результате анодного растворения металла под знаками образуются углубления, повторяющие отображение профиля знаков. Процесс протекает при малой скорости электролита и продукты обработки оседают в углублениях, образуя контрастное изображение.

При маркировании с использованием диэлектрических трафаретов наносимая информация имеет форму просечек 1, 2.(рис. 1.133)

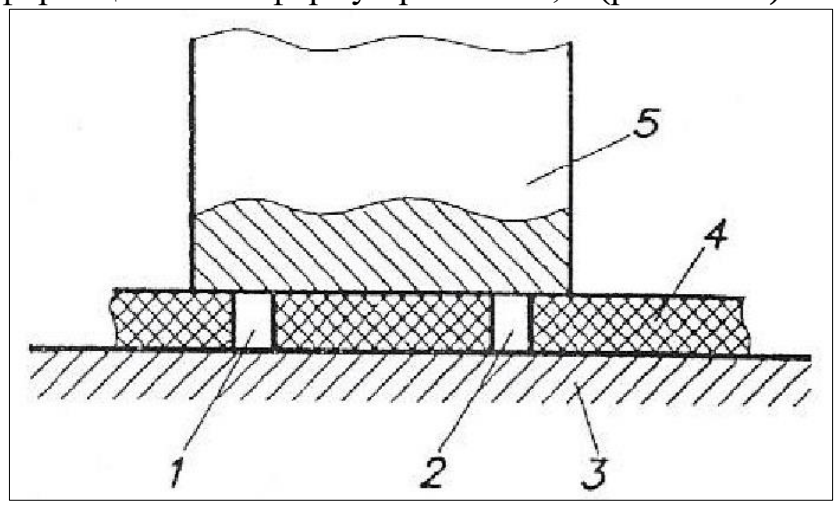


Рис.1.133. Схема нанесения информации диэлектрическим трафаретом.

Трафарет 4 накладывают на деталь 3 и прижимают электродом-инструментом 5. Процесс анодного растворения протекает в электролите, который заранее нанесен на поверхность детали.

2. ***удаление заусенцев***

При обработке по схеме с неподвижными электродами можно удалять заусеницы в труднодоступных местах. Например, в сообщающихся каналах

топливно-распределительной аппаратуры. В изделиях такого назначениях после механической обработки на кромках отверстий образуются заусеницы 4 (рис. 1.134), которые в процессе эксплуатации могут оторваться и вывести всю систему из стоя.

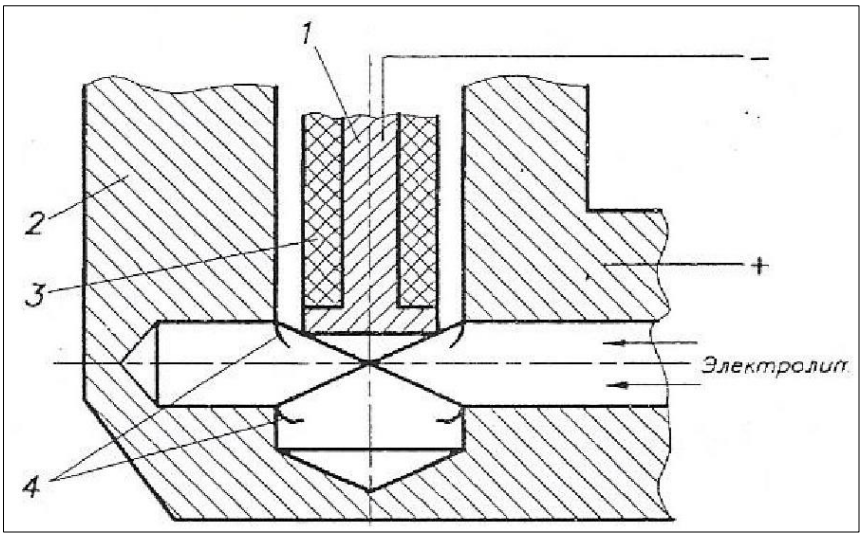


Рис.1.134. Схема обработки с неподвижными электродами

Их необходимо удалить, а кромки отверстий скруглить. Для этого в одно из отверстий заготовки 2 вводят электрод-инструмент 1, у которого наружная боковая поверхность покрыта изоляционным слоем 3. При этом снижается шероховатость поверхности и гидравлические потери в системе. Электролит прокачивается через одно из отверстий. По времени процесс растворения заусенцев и скругление острых кромок занимает доли минуты.

3. ***формирование внутренних полостей***

Применяются детали из трудно деформируемых сплавов с внутренними полостями (рис. 1.135).

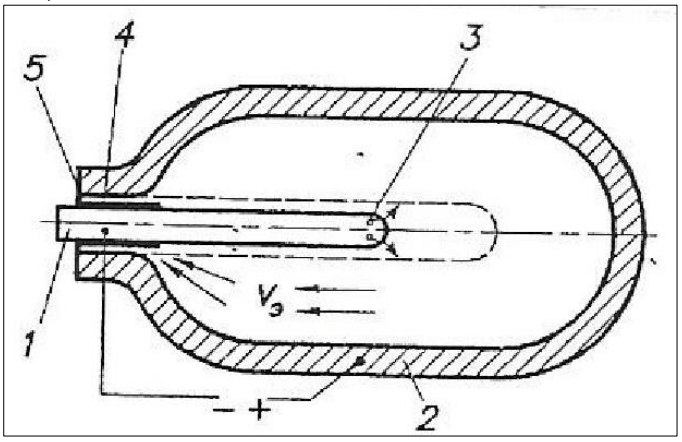


Рис.1.135. Схема формирования внутренних полостей

Диаметр рабочей части у них в несколько раз превышает диаметр горловины. Изготовить внутреннюю полость металлорежущим инструментом невозможно. С помощью ЭХО их получают электродом-инструментом 1 в виде трубки. В заготовке предварительно просверливают отверстие 5 (показано пунктиром) и вставляют электрод-инструмент. Часть поверхности электрода-

инструмента или заготовки на участке горловины покрывают изоляционным слоем 4, предотвращая растворение этого участка детали. Через отверстие 3 в электроде-инструменте прокачивают электролит и происходит растворение детали.

4. ***точение нежестких деталей***

Схему точения можно использовать при обработке части нежесткой заготовки. В качестве примера на (рис. 1.136) показана такая деталь, у которой имеется выступ 3, который необходимо сохранить.

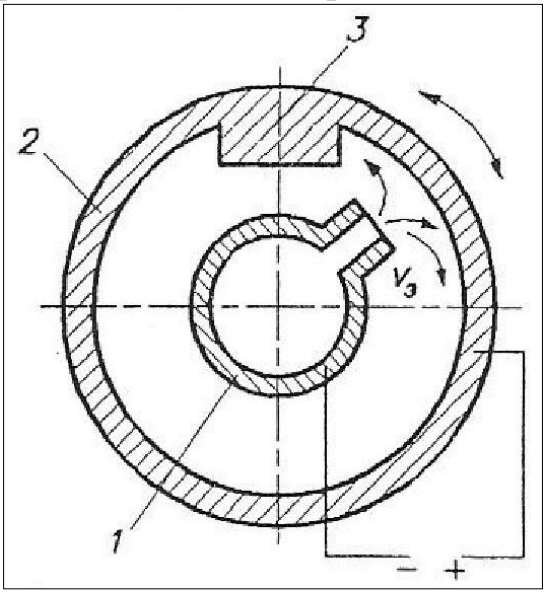


Рис.1.136. Схема точения нежестких деталей

Сама заготовка является нежесткой. Обработка ее возможна только с использованием бесконтактных методов. Электрохимическую обработку выполняют электродом-инструментом 1, через который прокачивают электролит со скоростью $V_э$. Заготовке 2 сообщается возвратно-вращательное движение вокруг оси так, что рабочая часть электрода-инструмента не достигает выступа на заготовке.

5. ***прошивание отверстий с криволинейной осью***

С помощью ЭХО по схеме прошивания выполняют каналы произвольного сечения с криволинейной осью. (рис. 1.137)

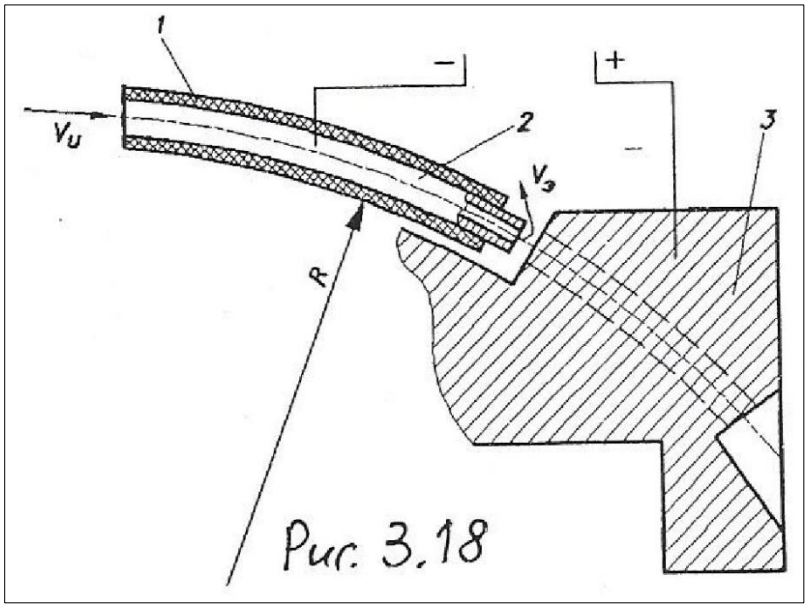


Рис.1.137. Схема прошивания отверстий с криволинейной осью

Для этого электрод-инструмент 2 подают к заготовке 3 по окружности радиусом *R*. Чтобы предотвратить конусность отверстия электрод-инструмент 2 покрывают изоляционным слоем 1. Скорость прошивания 0,03 мм/с при глубине обработки до 30 диаметров.

6. ***ЭХ протягивание***

При протягивании выполняют чистовую обработку отверстий любого поперечного сечения как с прямолинейной, так и с криволинейной осью. При этом форма и размеры сечения могут изменяться по длине отверстия. Пример схемы обработки внутренней поверхности трубы имеющий радиус изгиба R показан на (рис. 1.138).

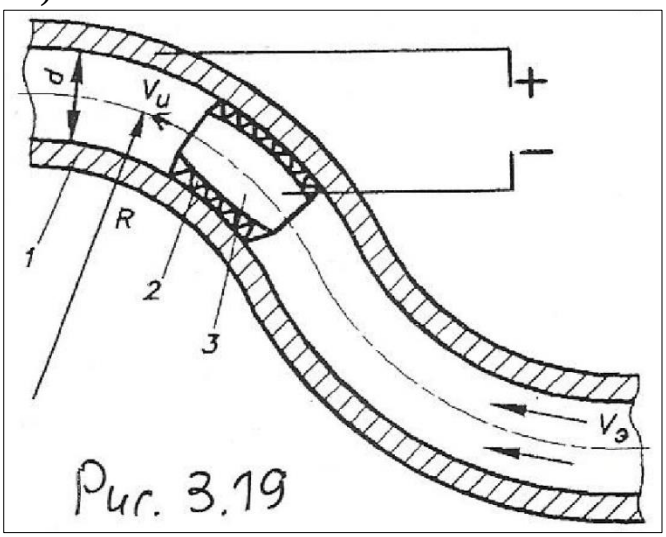


Рис.1.138. Схема ЭХ протягивания.

Электрод-инструмент 3 выполняется бочкообразной формы и на его наружную поверхность наносят выступы 2 из диэлектрика. В процессе ЭХО электрод-инструмент протягивается вдоль трубы 1 тросом, со скоростью $V_и$. Внутри трубной заготовки со скоростью $V_э$ прокачивается электролит. При

этом скорость v_u=0,3…1 мм/с, при этом шероховатость поверхности Ra<0,6 мкм.

1.14.8.9. Электроннолучевая обработка материала (ЭЛО)

С развитием средств электронной техники стало возможным получать мощные электронные пушки, энергия которых оказалась достаточной для решения многих технологических задач. Электронный луч как технологических инструмент позволяет осуществлять нагрев, плавку и испарение практически всех материалов; сварку и размерную обработку; нанесение покрытий и запись информации.

Однако технологичное использование электрического луча не получило широкого промышленного применения что в первую очередь связано с высокой стоимостью оборудования, необходимостью применения спецзащиты, высокая квалификация обслуживающего персонала.

Помимо этого, применение лазера позволило решать аналогичные задачи не в вакууме, а в атмосфере, что в ряде случаев значительно упрощает выполнение операций.

Процесс формирования электронного луча включает следующие стадии:

1. получение свободных электронов;
2. ускорение электронов электростатическим или магнитным полем и формирование электронного пучка;
3. изменение поперечного сечения электронного пучка, т.е. его фокусирование на обрабатываемой поверхности;
4. отклонение электронного луча и обеспечение требуемой траектории его перемещения относительно обрабатываемой поверхности.

Для получения электронного луча технологического назначения и управления им применяются электронные пушки. Принципиальная схема такого устройства показана на (рис. 1.139).

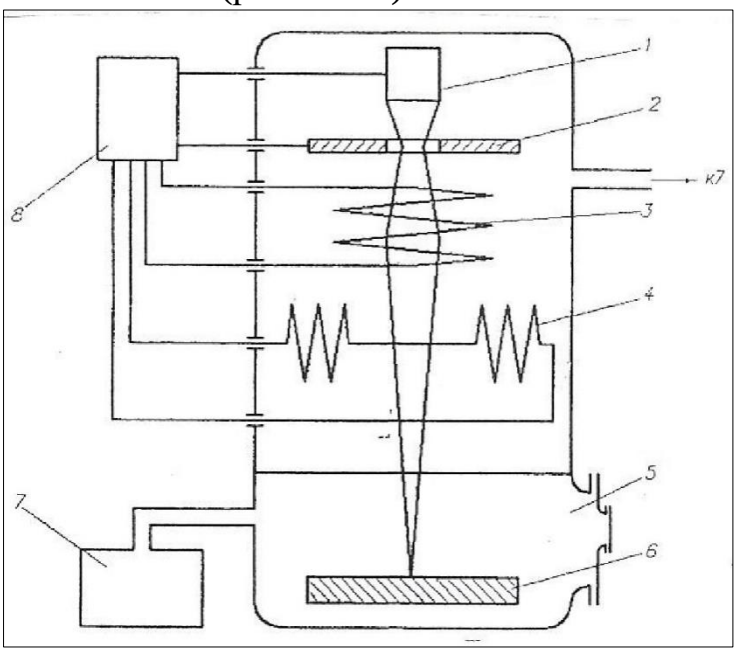


Рис.1.139. Схема устройства для получения электронного луча.

Источником электронов является термоэмиссионный катод 1 из вольфрама, тантала, обладающие высокими эмиссионными характеристиками. Подогрев катода осуществляется с помощью накаливаемого электрическим током подогревного элемента. Хотя в отдельных конструкциях сам этот элемент может выполнять функцию катода (катод прямого действия). В силу тяжелых температурных условий работы (интенсивного испарения) срок службы катодов не превышает нескольких десятков часов.

На расстоянии от катода расположен анод 2 в виде массивной детали с отверстием. Между катодом и анодом от специального высоковольтного источника питания, входящего в состав блока питания 8, прикладывается ускоряющее напряжение (20…200 кВ). За счет этого электроны ускоряются до значительных скоростей (при ускоряющем напряжении 1 В электрон движется со скоростью 593,2 км/с) и большая их часть проходит через отверстие в аноде 2, а далее в заанодном пространстве они движутся по инерции.

Чтобы из такого электронного потока сформировать электронный луч с необходимыми характеристиками, применяют фокусирование. Для этого в электронной пушке используется система диафрагм и магнитных линз. Магнитная линза 3 представляет собой соленоид с магнитопроводом, создающий магнитное поле специальной формы, которое при взаимодействии с движущимся электроном смещает его траекторию в направлении оси системы.При этом в фокусе электронный луч может обладать высокой плотностью энергии ($5 \cdot 10^{12}$ Вт/м^2).

Отклоняющая система 4 предназначена для перемещения электронного луча по обрабатываемой поверхности. Это достигается за счет взаимодействия электронного луча с поперечным магнитным полем, создающим отклоняющую систему.

В конструкции электронной пушке обычно предусматривают 2 пары отклоняющих систем (катушек), обеспечивающих перемещение электронного луча в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Необходимо подчеркнуть, что в рабочем пространстве электронной пушки должен быть обеспечен глубокий вакуум, чтобы молекулы остаточных газов не препятствовали прохождению электронов. в противном случае может произойти пробой между катодом и анодом в электронной пушке.

Электронная пушка выполняется в виде функционального блока, который или неподвижно крепится к рабочей камере 5, или перемещается внутри нее с помощью специальных механизмов.

Обрабатываемая заготовка 6 помещается в рабочую камеру 5. Откачка воздуха из пушки и рабочей камеры производится системой вакуумных насосов 7.

При осуществлении всех технологических процессов ЭЛО изменения состояния материалов происходит благодаря их взаимодействию с электронными лучами.

Торможение электрона в веществе сопровождается следующими основными явлениями:

– собственно, нагревом поверхности, используемым в технологических целях;

– тормозным рентгеновским излучением, возникающем при электронной бомбардировке материалов;

– вторичной электронной эмиссией, отражением электронов и термоэлектронной эмиссией с обрабатываемой поверхности.

Основными достоинствами электроннолучевой обработки с технологической точки зрения являются:

– возможность за счет фокусировки луча плавно изменять в широких пределах удельную энергию в зоне нагрева;

– большая мощность в месте взаимодействия электронного луча с обрабатываемой заготовкой;

– простота управления пространственным положением луча с помощью магнитной системы и возможность модулирования луча по мощности;

– наличие вакуума как рабочей среды;

– малая зона воздействия электронного луча на обрабатываемый материал.

К недостаткам ЭЛО следует отнести: необходимость обеспечения глубокого вакуума в рабочей среде; наличие тормозного рентгеновского излучения; сложность изготовления; высокая стоимость; необходимость в высококвалифицированном персонале.

1.14.8.10. Электроннолучевая сварка

Самое распространенное технологическое применение электронного луча.

За счет фокусировки луча можно в широких пределах изменять величину удельной поверхностной мощности. При ее небольших значениях форма проплавления имеет такой же характер, как и при газовой и дуговой сварке (рис. 1.140, а).

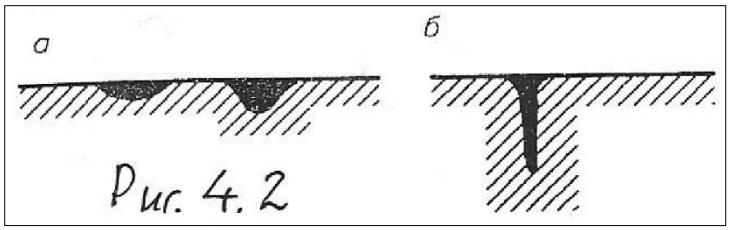


Рис.1.140. Схема формы проплавления

При увеличении удельной поверхностной мощности начинается интенсивное испарение металла. Это приводит к деформации жидкого металла под действием реакции паров и получению швов с глубоким проплавлением (рис. 1.140, б). Проплавление такого вида называют “кинжальным”.

По сравнению со швами традиционной формы, кинжальные швы имеют узкий ряд преимуществ, в частности оно дает возможность за один проход сваривать заготовки толщиной до 100 мм (рис. 1.141 а).

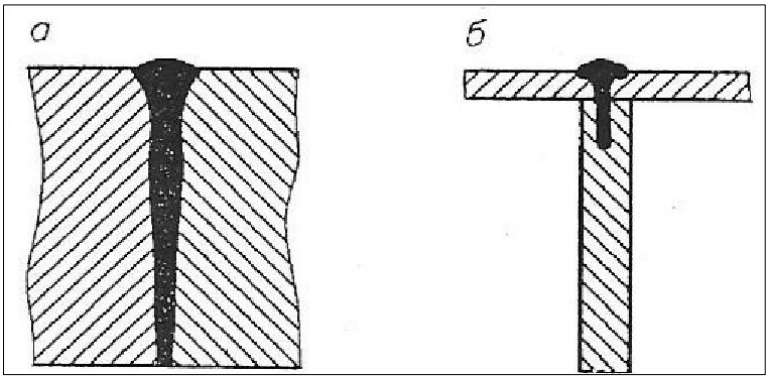


Рис.1.141. Схема кинжальных швов

Глубокое проплавление позволяет получать сварные соединения принципиально новой формы (рис. 1.141, б), которые нельзя получить другими способами.

Также следует отметить, что сварочный шов, получается весьма незначительных размеров, что иллюстрируется фотографией, представленной на (рис. 1.142).

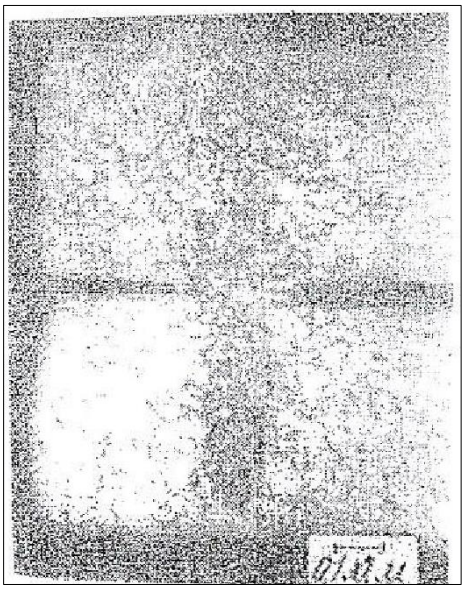


Рис.1.142. Фотография сварочного шва

На ней показано фото шлифа, полученного в результате ЭЛ сварки. важно отметить, что богатыря концентрированной подачи энергии, сам материал только в непосредственной близости к сварному шву, подвергается незначительному термическому воздействию.

В результате чего коробление изделия и изменение структуры незначительные. Благодаря незначительной деформации ЭЛ сварка эффективно применяется для сваривания конструкции из окончательно обработанных деталей с незначительной последующей обработкой или вовсе без нее. В качестве примера можно рассмотреть технологическое изготовление шевронных зубчатых колес.

При традиционных методах обработки шевронное колесо нарезается с помощью кольцевой фрезы, что малопроизводительно и не обеспечивает

высокую точность. С использованием ЭЛ технологии (рис. 1.143) такое колесо получают следующим образом.

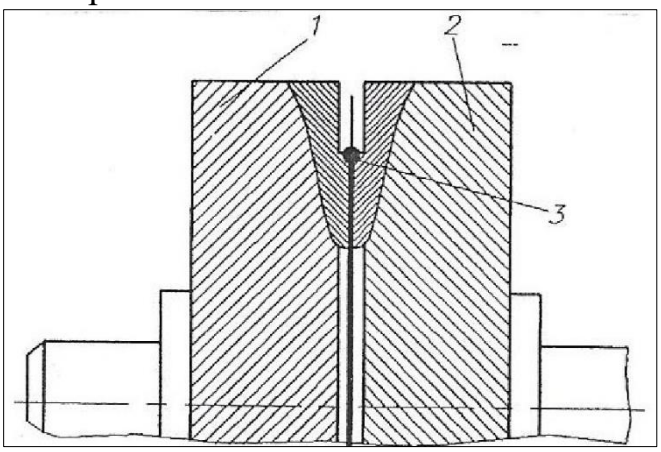


Рис.1.143. Схема использования ЭЛ технологии

Сначала изготавливает 2 отдельных косозубых блока 1 и 2, используя высокопроизводительной способ обработки с помощью червячной фрезы, а затем их сваривают при помощи электронных лучей 3 (зона сварки).

Такая технология применяется для изготовления шевронов зубчатых колес, которые работают в ответственных конструкций, например, авиационные двигатели.

1.14.8.11. Размерная ЭЛО

Основана на том, что при достаточно большой удельной поверхностной мощности скорость испарения обрабатываемого материала и давление пара возрастают настолько, что весь жидкий металл с потоком пара выбрасываются из зоны обработки. Так в заготовках получают глухие и сквозные отверстия заданных размеров, а также обрабатывают на них контур с определенными допусками на его размеры.

Способ обработки электронным лучом особенно пригоден для очень твердых материалов и во многих случаях только он и возможен. Так электронным лучом можно в вольфрамовом диске толщиной 1 мм обработать сквозное отверстие d=0,3...0,35 мм за время менее 5 с. Целесообразность обработки отверстий небольшого диаметра, очевидно, из примера, показанного на (рис.1.144).

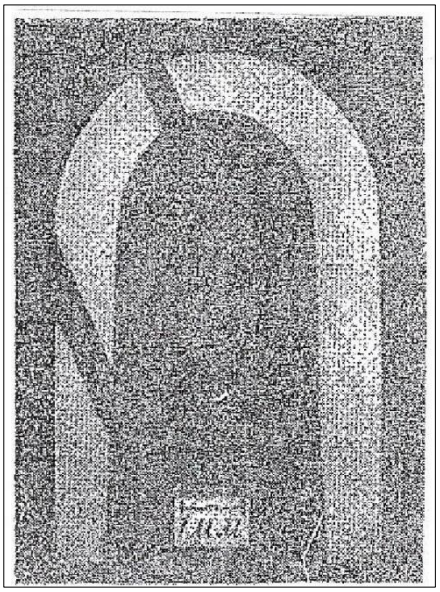


Рис.1.144. Схема обработки отверстий небольшого диаметра

Два наклонных канала d=0,5 мм, полученных стальной плоской трубе за 10 секунд.

Особая разновидность размерной электроннолучевой обработки – перфорация, т.е. получение множества мелких сквозных отверстий. Перфорацией изготовляют металлические и керамические элементы фильтров, пористый материал. Производительность перфорации зависит от мощности электронного луча и толщины заготовки и достигает 10^5 отверстий в секунду.

В качестве примера на (рис. 1.145) показаны отверстия d=70 мкм, полученных в фольге из нержавеющей, стали толщиной около 0,1 мм импульсным режимом электронного луча длительностью около 8 мкс.

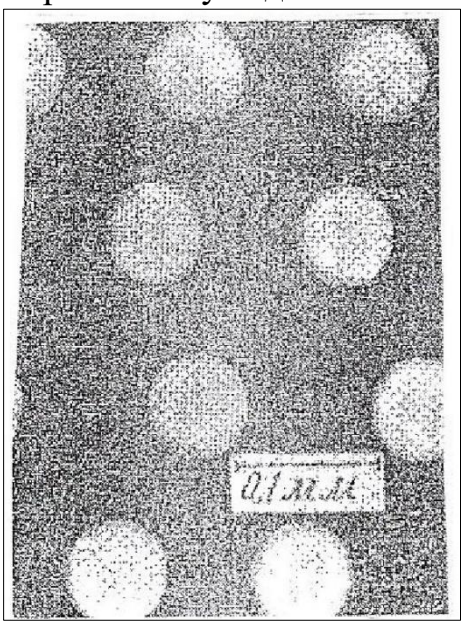


Рис.1.145. Отверстия d=70 мкм, полученные в фольге

1.14.8.12. ЭЛ испарение материалов

Испарение материала в вакууме путем их нагрева электронным лучом очень широко используется в технологии нанесения тонких пленок. По

сравнению с другими способами испарения, когда энергия нагрева подводится к испаряемой поверхности через стенку тигля или высокотемпературный нагрев элемента, при ЭЛ испарении осуществляется прямой нагрев поверхности, испаряемого материала. Это позволяет испарять материалы из водоохлаждаемых тиглей, что принципиально важно при работе с химически активными и тугоплавкими материалами.

Это позволяет получить покрытие очень высокой частоты, так как в этом случае практически полностью исключают реакции испарения металла с материалом тигля, которые практически не испаряется.

Кроме того, важно, что при ЭЛ испарении довольно легко управлять электронным лучом в пространстве и во времени, регулируя тем самым интенсивность ввода энергии в испаряемое вещество, а соответственно и скорость испарения и распределения плотности потоков пара.

В качестве примера на (рис. 1.146) приведена принципиальная схема испарительной установки для нанесения покрытий.

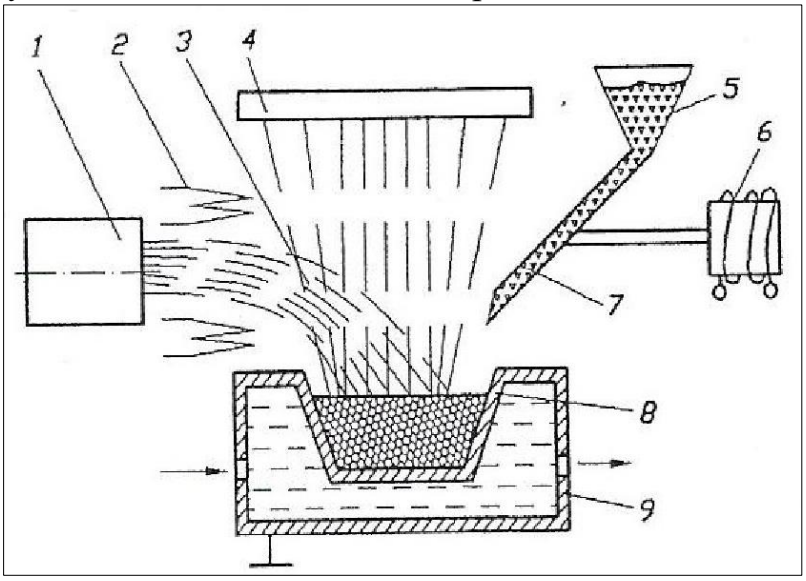


Рис.1.146. Принципиальная схема испарительной установки для нанесения покрытий

Испаряемый материал из бункера 5 по желобу 7, приводимому в действие вибратором 6, порциями поступает в охлаждаемый тигель 9.

Траектория электронного луча 3, получаемого с помощью электронной пушки 1, посредством отклоняющей системы 2 искривляется в направлении испаряемого вещества 8. При воздействии электронного луча на поверхность материала он испаряется и частицы пара, поднимаясь вверх, оседают на поверхности подложки 4, образуя на ней плотную пленку.

Наличие вакуума в процессе испарения материалов позволяет получать особо чистые по составу пленки, а также повышает их адгезию (сцепления) с поверхностью изделия.

Помимо рассмотренного существует множество других вариантов схем испарения, в частности, многотигельные испарение, когда на одну подложку наносят покрытия сложного состава, параллельно из нескольких тигля.

Электронным лучом можно испарять различные неметаллические материалы (стекло, диоксид кремния, оксид алюминия). покрытия из таких материалов широко используется в оптической промышленности и в различных областях электроники, включая и микроэлектронику.

1.14.8.13. Лазерная или светолучевая обработка (СЛО)

Сразу после создания лазера нашли широкое практическое применение в различных областях науки и техники. В частности, для передачи информации, измерения, навигации и так далее. Особое место занимает лазерная технология - эта группа процессов, использующие мощные исключения ОКГ (оптического квантового генератора) или лазерное излучение для нагрева, плавление, испарение сварки и резки материала. По возможности управления лазерным лучом и по возможности реализации технологического процесса в различных средах на сегодняшний день не имеют себе равных.

1.14.8.15. Условия получения лазерного излучения

Для того, чтобы получить источник мощного когерентного излучения, ученые пытались создать различные устройства аналогичные тем, которые применяют для генерации радиоволн, то есть объемные резонаторы. При этом размеры резонатора должны быть соизмеримы с длиной волны, что для случая волн оптического диапазона весьма трудно выполнимо. Решить эту задачу удалось силами квантовой электроники, которая оперирует отдельными атомами и молекулами, используемые для генерации колебаний и их резонансные свойства.

Как известно, атомы и молекулы представляют собой сложные микросистемы, состоящие из ядер и электронов. При этом энергия относительного движения частиц, составляющих атом или молекулу, может принимать строго определенные значения (рис. 1.147)

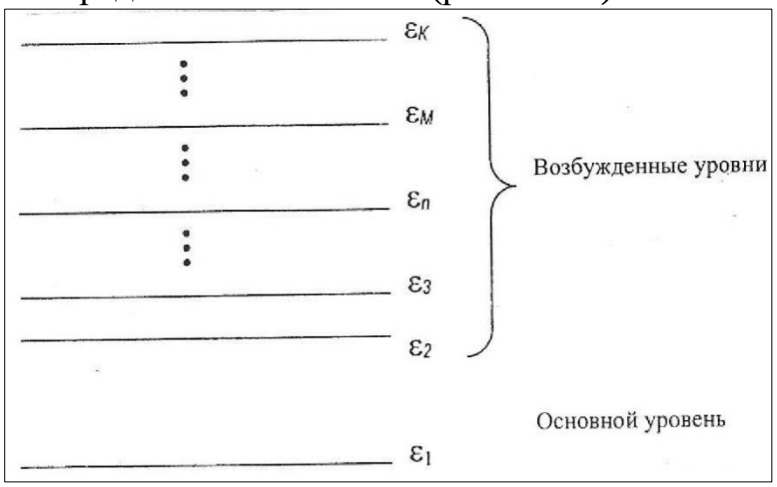


Рис.1.147. Схема уровней атомов и молекул.

Эти значения энергии ε_1, ε_2, $\varepsilon_3 \ldots \varepsilon_k$ (рис. 1.147) называются уровнями энергии, а система энергетических уровней составляет энергетический спектр атома. При этом нижний уровень с минимальной энергией ε_1 называется

основным, а остальные – возбужденными. Энергетический спектр атома зависит от его структуры, а число атомов, обладающих данной энергией, называется населенностью уровня.

В том случае, когда атому, находящемуся на основном уровне ε_1, сообщать энергию, то он может перейти на один из возбужденных уровней. В случае, если возбужденный атом самопроизвольно (спонтанно) переходит на один из нижележащих уровней, то при этом он излучает определенную порцию энергии в виде фотона.

Помимо спонтанного излучения возбужденного атома может происходить индуцированное (вынужденное) излучение, когда атомы начинают излучать энергию под действием внешнего электромагнитного поля. Именно существование вынужденного излучения дает возможность управлять излучением атомов с помощью электромагнитных колебаний и таким путем усиливать или генерировать когерентное световое излучение.

На практике, чтобы получить когерентное излучение, необходимо выполнить следующие требования.

- Необходим резонанс – совпадение частоты падающего света с одной из частот энергетического спектра атома. При этом переход с верхнего уровня на нижний уровень будет соответствовать переходу между теми же уровнями других атомов.
- Одновременно с вынужденным излучением света атомами, находящимися на верхнем уровне, происходит резонансное поглощение энергии атомами, находящимися на нижнем уровне. В результате атом, переходя на более высокий уровень, поглощает световой квант, что препятствует генерации. Поэтому, чтобы обеспечить генерацию когерентного света необходимо, чтобы число атомов на верхнем уровне было бы больше числа атомов на нижнем уровне. В естественных условиях при любой температуре на более высоком энергетическом уровне всегда находится меньше частиц, чем на более низком. Следовательно, для генерации когерентного света необходимо, принимать специальные меры, чтобы из двух выбранных уровней верхний был населен больше, чем нижний. В физике такое состояние вещества называется активным или состоянием с инверсной (обращенной) населенностью.
- В процессе генерации часть излучаемой световой энергии должна все время оставаться внутри рабочего вещества, вызывая вынужденное излучение все новых атомов, осуществляя тем самым положительную обратную связь. На практике это требование выполняется с помощью зеркал, одно из которых отражает всю падающую на него энергию, а второе является полупрозрачным. В результате часть энергии онопропускает (полезная энергия), а часть отражает. Как раз эта часть служит для вовлечения в генерацию новых порций рабочего вещества.
- Усиление, даваемое рабочим веществом должно превышать некоторое пороговое значение, зависящее от коэффициента отражения

полупрозрачного зеркала. При этом, чем меньше этот коэффициент, тем больше должно быть пороговое усилие рабочего вещества, так как в противном случае колебания в рабочем веществе затухнут.

1.14.8.16. Основные схемы ОКГ

В любом ОКГ независимо от конструктивного исполнения присутствуют следующие основные элементы:

- рабочее тело (вещество), состоящее из ансамбля атом или молекул, для которых может быть создана инверсия населенностей;
- систему, позволяющую осуществлять инверсию, которуюобычно называют системой накачки, и она может функционировать за счет различных физических явлений;
- оптический резонатор, который служит для осуществления взаимодействия излучения с рабочим веществом и в котором происходит отбор энергии от ансамбля генерирующих излучение частиц;
- устройство для вывода энергии из резонатора;
- система управления концентрацией энергии и пространственным положением полученного пучка света;
- различные специальные системы, связанные с конкретным применением ОКГ.

Для осуществления инверсии населенности в ОКГ применяют следующие виды накачки:

- оптическую накачку за счет облучения вещества мощным световым потоком;
- электрическую накачку, осуществляемую при прохождении через вещество электрического тока;
- химическую накачку, когда инверсия возникает за счет химической реакции, в которой принимает участие рабочее вещество.

В зависимости от типа применяемого рабочего вещества ОКГ разделяют на:

- твердотельные,
- газовые,
- жидкостные,
- полупроводниковые.

Твердотельные ОКГ. У них в качестве рабочего вещества используют твердые тела (синтетический рубин).

На (рис. 1.169) показана принципиальная схема твердотельного ОКГ.

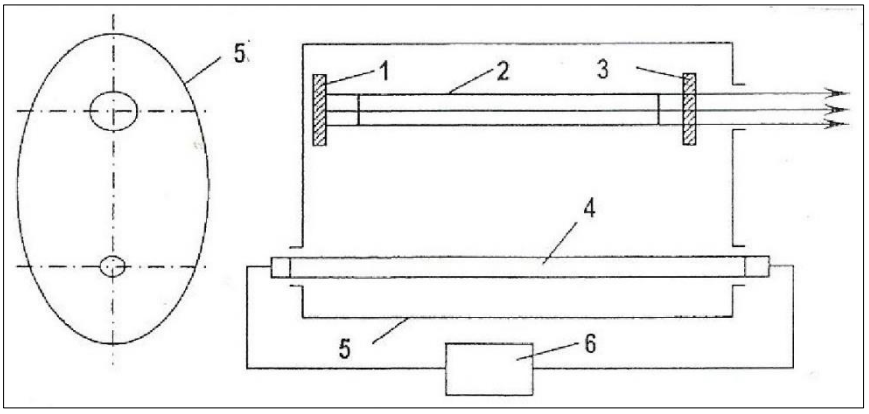


Рис.1.148. Принципиальная схема твердотельного ОКГ.

Стержень 2, изготовленный из рабочего вещества, помещается между двумя зеркалами 1 и 3. Пи этом зеркало 1 полностью отражает все падающие на него лучи, а зеркало 3 является полупрозрачным. Для накачки энергии используется газоразрядная лампа – вспышка 4, которая для обеспечения наибольшей эффективности облучения стержня помещается вместе с ним внутрь отражающего кожуха 5, имеющего в поперечном сечении форму эллипса. При размещении лампы-вспышки и стержня в фокусах эллипса создаются наилучшие условия для равномерного освещения рабочего тела. Питание лампы-вспышки, как правило, осуществляется от специальной высоковольтной батареи конденсаторов 6.

При разряде батареи конденсаторов лампа дает интенсивную вспышку полихроматического света. Это излучение воздействует на активные атомы оптического резонатора, которые поглощая энергию накачки, возбуждаются и затем при переходе на низшие энергетические уровни генерируют собственное излучение.

Следует отметить, что не вся энергия, поглощаемая стержнем, превращаются в энергию ОКГ. Значительная его часть (40-70%) превращается в теплоту и идет на нагрев стержня, это не желательно. Поэтому в большинстве мощных конструкций ОКГ предусматривается система принудительного охлаждения рабочего тела.

Газовые ОКГ. У них в качестве рабочего тела используются газообразные вещества, а накачка, как правило, осуществляется за счет эффектов, связанных с прохождением электронного тока через газ. В качестве активных газов в ОКГ применяют аргон, неон, криптон, ксенон, смеси гелия и неона, углекислый газ с примесью азота и гелия.

Все газовые ОКГ подразделяются на три большие группы: лазеры на атомных, ионных и молекулярных переходах.

Примером атомного лазера является гелиево-неоновый ОКГ, схема которого приведена на (рис. 1.149).

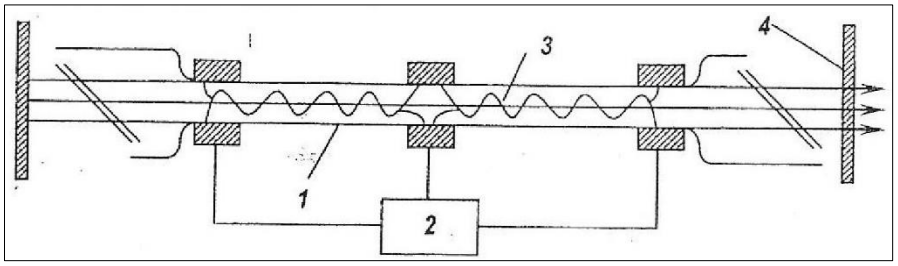


Рис.1.149. Примером атомного лазера.

Газоразрядная трубка 1 заполняется гелием и неоном под давлением. С помощью источника высокого напряжения 2 в трубке создается высоковольтный электрический разряд 3, который возбуждает атомы гелия и неона за счет соударения с электронами. Излучение выходит через полупрозрачное зеркало 4.

В ионныхгазовых ОКГ используются переходы между энергетическими уровнями ионов благородных газов (ксенона, аргона, неона, криптона), а также фосфора, серы и хлора. Типичным представителем этой группы является аргоновый лазер, который имеет практически тоже конструктивное исполнение, что и гелиево-неоновый ОКГ. Отличие состоит в том, что газоразрядная трубка заполняется аргоном под давлением в несколько десятков паскалей. По мощности ОКГ этой группы выше, чем лазеров на атомных переходах.

Среди газовых наибольшей мощности и КПД имеют ОКГ, генерирующие колебания на молекулярных переходах. К этой группе относятся ОКГ, в которых в качестве рабочего вещества используется углекислый газ. Молекулы CO_2, возбуждаются ударами электронов в газовом разряде, причем для увеличения мощности добавляют молекулярный атом N_2.

На (рис. 1.150) приведена схема ОКГ на CO_2.

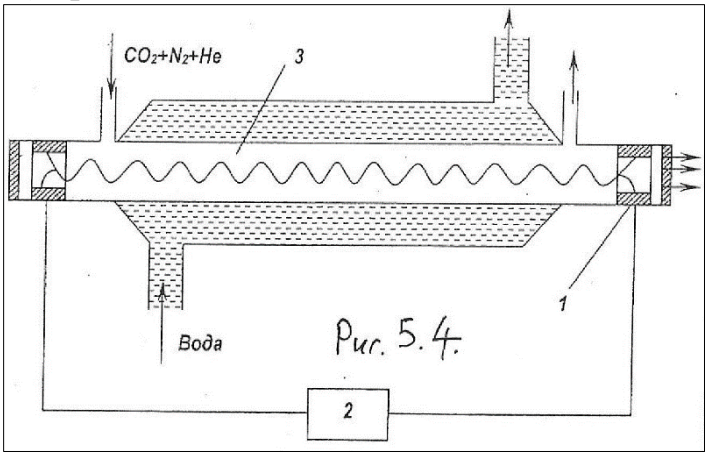


Рис.1.150. Схема ОКГ.

Электрический разряд возбуждается в водоохлаждаемой стеклянной газоразрядной трубке 3 диаметром до 60 мм. Разряд возбуждается между электродами 1 с помощью высоковольтного источника питания 2. Излучение с длиной волны $\lambda = 10{,}6$ мкм выводится через окно 4 из материала,

пропускающего инфракрасные лучи, например, из кристаллов KBr, NaCl или германия.

В рассмотренной схеме ОКГ с продольной прокачкой газа с 1 м длины резонатора можно снимать мощность не более 50 Вт.

Значительно большей мощностью обладают лазеры на CO_2, в которых используются системы с поперечной относительно направления электрического тока прокачкой газа, как показано на (рис. 1.151).

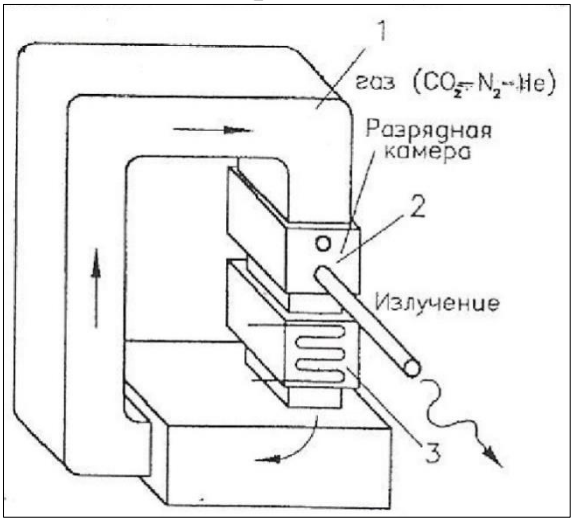


Рис.1.151. Схема ОКГ с продольной прокачкой

В этом случае применяют интенсивную прокачку газа 1 через объем резонатора 2 с охлаждением газовой смеси в теплообменнике 3. Электрический разряд возбуждается между анодной плитой и секционированным катодом. Расход газовой смеси через разрядную камеру составляет 2-3 $м^3/с$. Электроразрядные лазеры с поперечной прокачкой газа работают в непрерывном режиме генерации и развивают мощность до 50 кВт.

Полупроводниковые ОКГ. Они генерируют когерентное излучение за счет процессов, происходящих в p-n-переходе. Схема полупроводникового ОКГ на арсениде галлия приведена на (рис. 1.152).

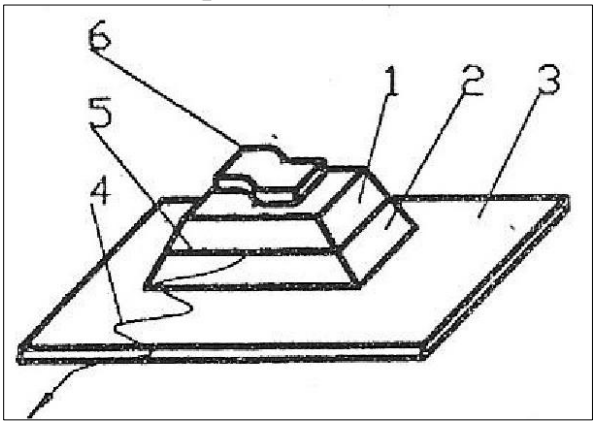


Рис.1.152. Полупроводниковые ОКГ

Верхняя часть 1 кристалла имеет проводимость p-типа, а нижняя 2 – n-типа. Между ними образован p-n- переход толщиной порядка 0,1 мкм. Однако излучающий слой имеет несколько большую толщину, около 1-2 мкм, из-за

проникновения электронов и дырок за область перехода. Выводы 3 и 6 служат для подачи питающего напряжения, причем один из них, в данном случае нижний, может выполнять и функцию теплоотвода.

При подаче на эти выводы напряжения p-n-переход генерирует излучение 4 в инфракрасной области спектра.

Мощность излучения ОКГ на арсениде галлия при температуре жидкого азота в импульсно – периодическом режиме составляет 100 Вт, а в непрерывном режиме – 10 Вт.

1.14.8.17. Взаимодействие излучения ОКГ с обрабатываемым веществом

При падении потока лучистой световой энергии на поверхность обрабатываемого вещества некоторая его часть поглощается им, а другая его часть отражается от поверхности. Доля отраженной энергии зависит от длины волны излучения и состояния поверхности вещества. По сравнению с электронным лучом, КПД передачи энергии потоком света значительно меньше из-за доли от обрабатываемой поверхности.

Энергия поглощенного веществом излучения передается электроном, а поэтому глубина проникновения световой энергии в вещество соответствует средней длине их пробега. Для большинства веществ эта глубина составляет порядка $(5\text{-}50)\cdot 10^{-3}$ мкм. Дальнейшая передача энергии из этой зоны в глубь вещества происходит за счет теплопроводности. При этом, в отличие от электронного луча, энергия светового излучения при взаимодействии с веществом в основном превращается в теплоту, а доля возникающего при этом рентгеновского излучения пренебрежимо мала.

С увеличением плотности потока возрастает глубина проплавления, а начиная с некоторого его значение происходит испарение вещества. При дальнейшем повышении концентрации световой энергии доля испаренного вещества начинают резко возрастать и отдельные капли, и частицы вещества за счет действия паров выбрасываются из зоны обработки. Повышение плотности лучистого потока до максимального значения приводит к интенсивному испарению вещества при минимальном количестве жидкой фазы с выносом его в виде паров из зоны обработки. При работе ОКГ в импульсном режиме, чем короче импульс при той же его энергии, тем меньше его часть расходуется на теплопроводность. Поэтому процессы размерной обработки с помощью ОКГ осуществляются в импульсном режиме с минимальной длительностью импульса.

1.14.8.18. Технология светолучевой обработки материалов

Использование мощных ОКГ имеет ряд технологических преимуществ:

1. энергию в виде светового луча можно передать на расстоянии, в том числе и через прозрачную разделительную перегородку или по световоду.
2. высокая концентрация энергии в пятне нагрева.

3. возможность плавной регулировки плотности потока лучистой энергии в пятне нагревом за счет фокусировки луча.
4. возможность получать как импульс энергии малой длительности, так и непрерывное излучение.
5. малые размеры (до нескольких мкм) зон обработки.
6. возможность реализации технологического процесса в любой оптически прозрачной среде.

1.14.8.19. Лазерное плавление

Локальные переправ поверхностных слоев осуществляется для повышения твердости обрабатываемого материала. Нагрев излучения ОКГ до плавления поверхности заготовки и затем быстрое охлаждение и кристаллизация небольших объемов металла приводит к образованию структур, которые в обычных условиях получить нельзя.

Для чугуна и высокоуглеродистой стали осуществляется не сплошной поверхностный переплав, а создают зоны проплавления виде отдельных линий, сеток, спиралей и так далее. Это позволяет эффективно сочетать прочность и пластичность основного материала (матрицы) с повышением твердости и износостойкости переплавленных зон.

1.14.8.20. Лазерная сварка

Импульсные твердосплавные ОКГ применяются для сварки малогабаритных детали, где важно получать швы с минимального разогрева материала. Используют как точечное такая, чтоб на сварку.

Сварку импульсным ОКГ используют при изготовлении герметичных корпусов различных конструкций из тонколистовых материалов толщиной от 0,1 до 1 мм, как показано на (рис. 1.153).

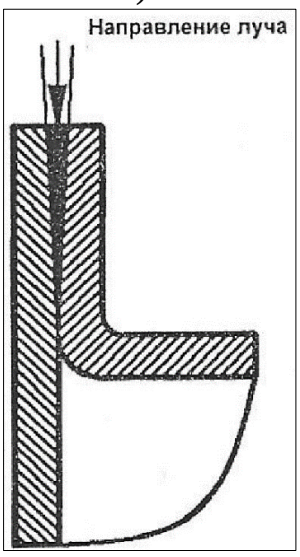


Рис.1.153. Сварка импульсным ОКГ

Благодаря сравнительно небольшому разогреву свариваемого изделия, лазерная сварка позволяет осуществлять герметизацию корпусов, заполненных

различными веществами, значительный нагрев которых может привести их в негодность.

При герметизации с помощью лазерной сварки корпусов различных микросхем и полупроводниковых приборов процесс осуществляет в инертной среде, чаще всего в гелии, который затем используется и для контроля герметичности соединения.

С помощью мощных газовых ОКГ непрерывного излучения можно за один проход луча проплавлять металл на значительную толщину. Но при толщине больше 200 мм требуются мощные ОКГ в сотни киловатт.

1.14.8.21. Лазерная резка и размерная обработка

Процесс резки излучением ОКГ основан на локальные плавления материала и его дальнейшем удалении под действием силы тяжести конвективного потока или газовой струи.

Повысить эффективность лазерной резки можно за счет введения в зону обработки газа, например, кислорода, что увеличивает выделение энергии. На этом принципе основан процесс газолазерной резки (ГЛР), которой показаны на (рис. 1.154).

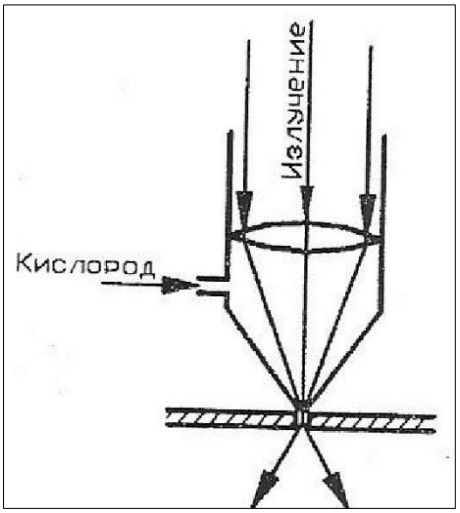


Рис.1.154. Схема введения в зону обработки газа

При этом кислород:

- за счет реакции окисления обеспечивает выделение основной части энергии
- увеличивает поглощающую способность материала за счет создания на его поверхности оксидов, имеющих меньше коэффициент отражения
- снижает поверхностное натяжение расплавленных металлов, имеющих жидкотекучие оксиды
- струя газа под давлением способствует удалению расплавленных оксидов из зоны реза
- охлаждает кромки разрезанного металла

Максимальная толщина заготовок при газоалазерной резки составляет:

- низкоуглеродистая сталь - до 10 мм
- легированные стали - до 6 мм

- никелевые стали - до 5 мм
- титан - до 10 мм

Излучение ОКГ используют для прошивания отверстии в различных материалах, чаще всего с помощью импульсных твердотельных ОКГ за один или несколько импульсов. По сравнению с механической обработкой лазерная прошивание отверстий имеет ряд преимуществ:

1. можно обрабатывать практически любые материалы, независимо от их твердости
2. можно получать отверстие малых диаметров (d<0,1 мм) с большим отношением глубины к диаметру
3. можно получается отверстие, ось, которых наклонена под углом к обрабатываемой поверхности
4. повышенная точность, расположение отверстий на обрабатываемой заготовки благодаря высокой точности систем наведения луча

Дно отверстия при лазерном прошивании формируется главным образом за счет испарения, а его боковые стенки за счет плавления материала и вытекания жидкости при избыточном давлении паров в полости отверстия. Геометрическая форма отверстия зависит от места расположения фокального пятна относительно обрабатываемой поверхности заготовки. Максимальный диаметр отверстия находятся у его к входной части (рис. 1.155), а глубина тем больше, тем выше энергия излучения (рис. 1.155).

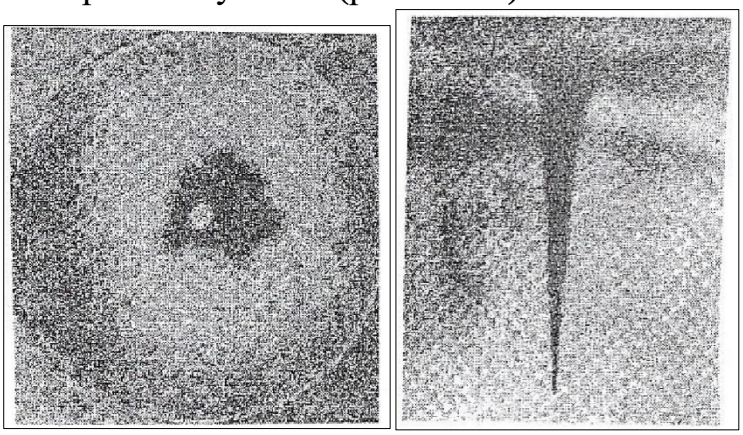


Рис.1.155. Схема обработки.

Для получения глубоких отверстий малых диаметров осуществляется обработка на многоимпульсном режиме. По сравнению с электролучевым способом получения отверстий лазерное их прошивания является более производительным и экономичным.

2. Технологии и оборудование для изготовления деталей и изделий медицинского назначения

2.1. Технология формообразования изделий из пластмасс.

Пластмассовыми называют искусственные материалы, получаемые на основе связующего вещества на основе природных или синтетических высокомолекулярных соединений (полимеров) при добавлении в него

различных наполнителей, которые способны формироваться при воздействии температуры и давления, затвердевать по прекращении их действия и сохранять полученную форму в процессе эксплуатации.

Возможность изменения в широких пределах разнообразных свойств пластичных масс, за счет варьирования с одной стороны свойств связующего вещества, а с другой стороны наполнителя, обусловила разрабатывать и использовать для изготовления деталей машин и приборов из большого числа марок пластичных масс, каждая из которых обладает своей специфичной совокупностью физико-механических свойств.

В медицине использование пластмасс по объему медицинской продукции достигает где-то 70% и по массе 40%.

Общие сведения о пластмассах

Как правила пластмассы приставляют собой сложные многокомпонентные материалы, состоящие из связующего вещества, наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, отвердителей, смазывающих веществ, красителей (пигментаторов), каждая из этих веществ оказывает существенное влияние на эксплуатацию и технологические свойства пластмасс. В то же время некоторые виды пластмасс состоят только из связующего вещества (полиэтилен).

Связующие вещества – высокомолекулярные соединения – полимеры, состоящие из молекул-гигантов (макромолекул), в которых одинаковые звенья небольших молекул (мономеров) последовательно соединенных между собой силой химических связей в длинные цепи. Структура макромолекул в зависимости от формы может быть (рис. 2.1):

а) линейной,

б) разветвленной,

в) сетчатой,

г) сшитой (пространственной).

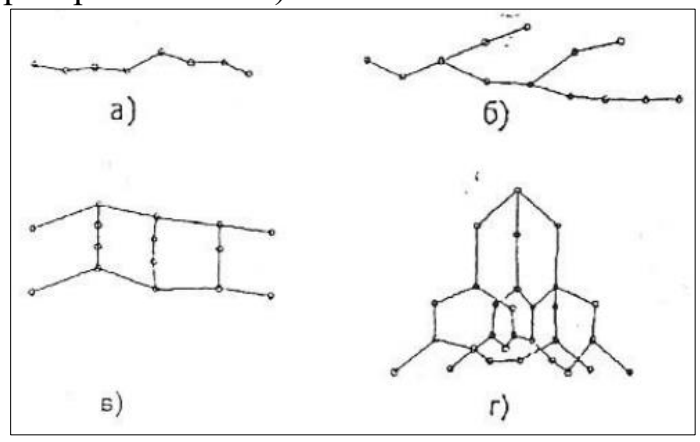


Рис.2.1. Структура макромолекул в зависимости от формы

Следует подчеркнуть, что свойства полимеров в 1 очередь зависит от строения макромолекулы и звеньев из которой она состоит.

Макромолекулы линейной структуры представляют собой цепи, длина которых в сотни и 1000 раз превышает размеры поперечного сечения.Чем длиннее цепь, тем выше прочность характеристики полимера.

Макромолекулы, развернутых строений имеют боковые ответвления, при этом наличие ответвлений приводит к ослаблению межмолекулярной связи и как следствие, понижение температуры размягчения.

Обычно линейные и развернутые полимеры растворимы в тех или иных растворителях и являются основой термопластичных пластмасс.

Сетчатый и пространственные полимеры образуются в результате соединения друг с другом линейных цепей макромолекул поперечными химическими связями. Это делает сшитые полимеры совершенно нерастворимыми в растворителях, и такие полимеры являются основой термореактивных пластмасс.

В зависимости от числа компонентов все пластмассы разделяются на простые и композиционные.

Связующее вещество – смола, природная или синтетическая, является обязательным и основным компонентом пластмассы. Следует подчеркнуть, что смолы не имеют критической температуры плавления, то есть при нагревании они плавятся в широком диапазоне температур. В процессе изготовления деталей смола в процессе нагрева может находиться в вязкотекучем или высокопластичном состоянии.

Помимо связующего вещества в состав пластмасс входят следующие составляющие: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, смазывающие добавки и красители.

Наполнители вводятся для повышения механической прочности, теплостойкости, уменьшения усадки, придания электроизоляционных, фрикционных и других свойств, а также для снижения стоимости материала. Наполнители могут быть органическими (древесная мука, бумага, ткани и т. д.) и неорганическими (слюдяная и кварцевая мука, асбест, стекловолокно и др.). Содержание наполнителя в пластмассе колеблется в пределах 40–65% от веса пластмассы.

Пластификаторы вводят для увеличения пластичности и текучести связующего вещества, что улучшает условия формообразования изделия при меньшей температуре и давлении. В качестве пластификаторов применяют камфору, касторовое масло, дибутилфталат и др.

Стабилизаторы – вещества, вводимые в пластмассы с целью повышения их стойкости во время переработки и эксплуатации под действием повышенной температуры, света, атмосферных условий и других факторов. В качестве стабилизаторов применяют фенолы, сернистые соединения, сажу и др.

Отвердители (катализаторы) добавляют для ускорения процесса отверждения термореактивных и некоторых термопластичных смол. С этой целью используются известь, магнезия, уротропин и др.

Смазывающие добавки вводят в пластмассы для повышения текучести, устранения прилипания детали к рабочей поверхности пресс-формы при прессовании.

Красители (пигментаторы) добавляют в пластмассу для придания изделиям определенного цвета.

При изготовлении газонаполненных пластмасс (поро- и пенопластов) в полимеры вводят газообразователи – вещества, которые при нагреве выделяют газообразные продукты.

Классификация и основные технологические свойства пластмасс

В зависимости от характера изменений, которые происходят в полимерах (связующих веществах) при нагревании, все пластмассы разделяют на две большие группы – термопластичные и термореактивные материалы.

Термопластичные пластмассы (термопласты) при нагреве размягчаются и расплавляются, затем вновь затвердевают при охлаждении. Причем связующее вещество таких пластмасс не претерпевает необратимых химических превращений.

Термореактивные пластмассы (реактопласты) при нагреве превращаются в вязкотекучее состояние и в результате химической реакции переходят в твердое, необратимое состояние. Отвержденные реактопласты нельзя повторным нагревом вновь перевести в вязкотекучее состояние.

К основным технологическим свойствам пластмасс относятся: текучесть, усадка, скорость отверждения, термостабильность и содержание летучих веществ.

Текучесть – способность пластмассы заполнять формирующую полость пресс-формы при определенной температуре, удельном давлении и времени, присущих конкретным условиям процесса. Она зависит от вида и содержания в пресс-материале полимера, наполнителя, пластификаторов, смазки, а также от конструкции пресс-формы. Слишком высокая текучесть ведет к перерасходу пластмассы, а слишком малая – препятствует полному заполнению пресс-формы.

Усадка. Она заключается в уменьшении размеров деталей от момента затвердевания пластмассы до полного остывания.

$$У = \frac{А - Б}{Б} \cdot 100\%$$

А – размер гнезда пресс-формы при температуре прессования 145–185°С; Б – размер детали при температуре 20 ± 5°С.

Именно по этой причине из-за значительной усадки пластмассы, при расчете исполнительных размеров пресс - формы усадка должна быть учтена с максимально возможной точностью.

Скорость отверждения термореактивных пластмасс. Это время в секундах необходимое для отверждения 1 мм толщины детали. Значение этого параметра должно быть оптимальным. Низкая скорость отверждения увеличивает время выдержки материала в пресс - форме под давлением, что приводит к снижению производительности. При высокой скорости может происходить преждевременное поляризация материала в пресс - форме, в результате чего отдельные участки формирующей полости не будут заполнены.

Термостабильность. Под ней понимают время, в течение которого термопласт выдерживает определенную температуру без разложения. Высокую термостабильность имеет полиэтилен, полистирол, полипропилен и др.

Наиболее распространенными способами формования изделий из пластмасс в вязкотекучем состояния являются: **прямое (компрессионное**) и **литьевое прессование**, **литье под давлением** и **выдавливание (экструзия**).

Прямое (компрессионное) прессование - это 1 из основных способов переработки реактопластов и некоторых термопласт (фторопласт-3, фторопласт-4) в детали. Перед прессованием пресс-материал дозируют, таблетируют и подогревают.

Процесс прессования состоит из следующих переходов. В начале, если необходимо, в пресс-форму устанавливают арматуру, затем осуществляют дозировку пресс-материала и после дозировки (рис. 2.2) материала 2 загружают в полость матрицы пресс-формы 3. (рис. 2.2а)

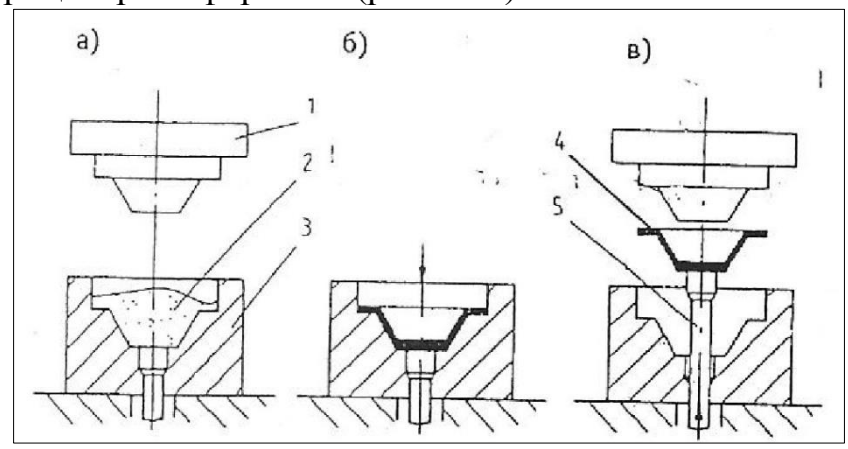


Рис.2.2. Процесс прессования

При замыкании пресс-формы под действием усилия пресса пуансон 1 создает давление на прессуемый материал (рис. 2.2б). Под действием этого давления и теплоты от нагретой пресс-формы материал размягчается и заполняет формообразующую полость пресс-формы. После определенной выдержки, необходимой для отверждения материала, пресс-форма раскрывается, и с помощью выталкивателя 5, располагаемого, как правило, внизу матрицы, из нее извлекается готовая деталь 4 (рис. 2.2в).

Процесс отверждения сопровождается выделением летучих составляющие композиционного материала и паров влаги, для удаления газов в процессе прессования выполняют так называемую подпрессовку, которая заключается в подъеме пуансона на 5-10 мм, выдерживает в таком состоянии 2-3 секунды после чего пресс-форма снова смыкается.

Нагрев пресс-формы обычно осуществляют с помощью электронагревателя, а температура в процессе прессования поддерживается постоянной с помощью средств автоматики.

Недостаток компрессионного метода – быстрый износ пресс-форм, так как прессование начинается при недостаточно пластичном материале, и невысокая точность деталей. При этом точность дозировки влияет на колебания размера по высоте детали. Обычно точность размеров находится в пределах 11–14-го квалитетов, а шероховатость поверхности – *Rz*10–*Rz*3,2.

Литьевое прессование термореактивных, а иногда и термопластичных масс применяется для получения деталей сложной формы с тонкой арматурой,

точностью 10-го квалитета и точнее.

На (рис. 2.3) показана схема получения детали литьевым прессованием.

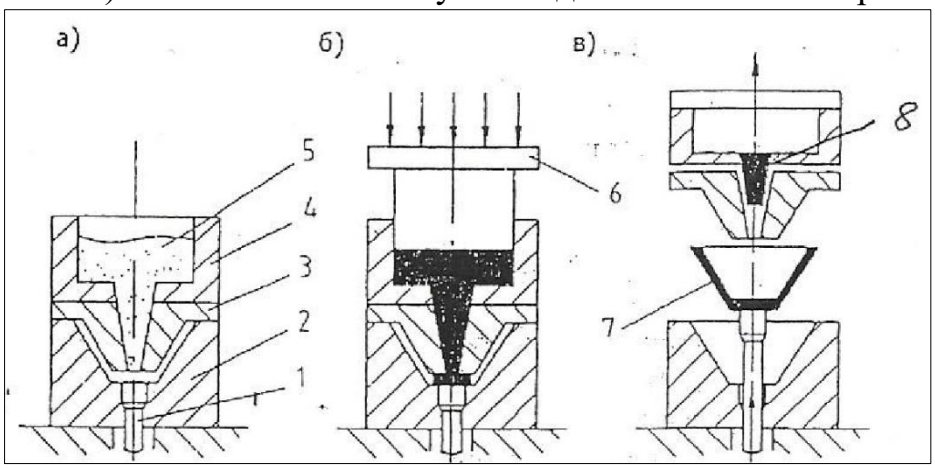


Рис.2.3. Схема получения детали литьевым прессование.

В начале работы собирают нагретые матрицы 2 с пуансоном 3 и накладную (съемную) загрузочную камеру 4. В нее загружают пресс-материал 5, чтобы нагреть его до вязкотекучего состояния. Затем пуансон 6 загрузочной камеры под большим давлением действует на пресс-материал. По мере опускания пуансона 6 материал через литник поступает в формообразующую полость пресс-формы и заполняет ее. После выдержки, необходимой для отверждения материала, пуансон 6 поднимается вверх, загрузочная камера отделяется от пресс-формы, форма раскрывается и из нее выталкивателем 1 удаляется готовое изделие 8. Затвердевший пресс-материал 7 из литьевого канала загрузочной камеры 5 удаляется, чтобы вновь собрать пресс-форму и продолжить прессование.

Недостатком литьевого прессования является повышенный расход пресс-материала, так как в загрузочной камере и литниковых каналах остается часть отвержденного и неиспользуемого в дальнейшем пресс-материала.

Литье под давлением— это высокопроизводительный и эффективный способ массового производства деталей из термопластичных материалов.

На (рис. 2.4) приведена схема получения изделий способом литья под давлением.

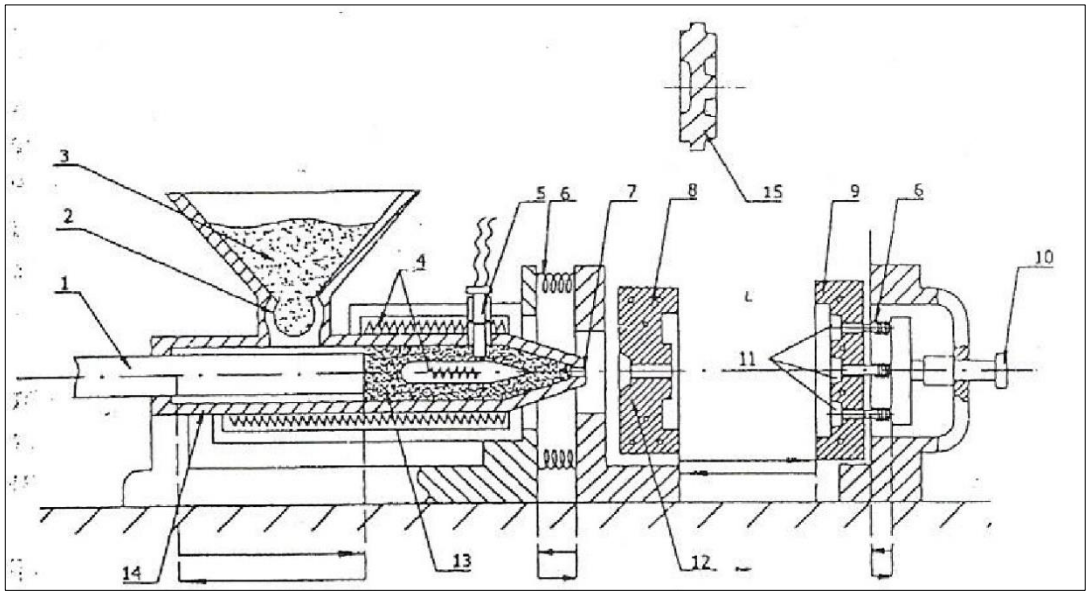


Рис.2.4. Схема получения изделий способом литья под давлением.

Гранулированный или порошковый материал загружают в бункер 3. Дозирующее устройство 2 подает порцию материала, соответствующую массе отливки с литниковой системой, в загрузочную камеру 13 в тот момент, когда поршень 1 находится в крайнем левом положении. В камере 13 материал нагревается электроэлементами 4 до требуемой температуры, которая поддерживается автоматически при помощи терморегулятора 5.

Две половины пресс-формы 8 и 9 смыкаются и подаются к соплу 7 камеры 13. Затем поршень 1, движущийся в цилиндре 14, сжимает нагретый материал и под давлением 70–150 МПа нагнетает его в пресс-форму. Температура пресс-формы меньше температуры отверждения полимера благодаря ее охлаждению проточной водой, проходящей по каналам 12. Поэтому материал в пресс-форме быстро охлаждается и затвердевает. После этого поршень 1 отводится в исходное положение, и половина 9 пресс-формы отходит до упора 10, приводящего в действие выталкиватели 11 для извлечения готовой детали 15. Пружины 6 предотвращают резкие изменения скоростей движения выталкивателей и пресс-формы.

По сравнению с прессованием литье под давлением обладает рядом **преимуществ.** Так, производительность процесса литья в 20–40 раз выше производительности прессования; при этом получают детали сложной конфигурации с различными толщинами стенок, ребрами жесткости, с резьбами и т. д.

Недостаток литья под давлением – невозможность получения изделий крупных габаритов с большой толщиной стенок из-за большой усадки пластмассы в процессе охлаждения.

Метод автоклавного литья позволяет изготовить изделия из полимеров сравнительно большого веса с использованием несложного оборудования и приспособления.

На (рис. 2.5) приведена схема автоклавной установки для изготовления

литых деталей.

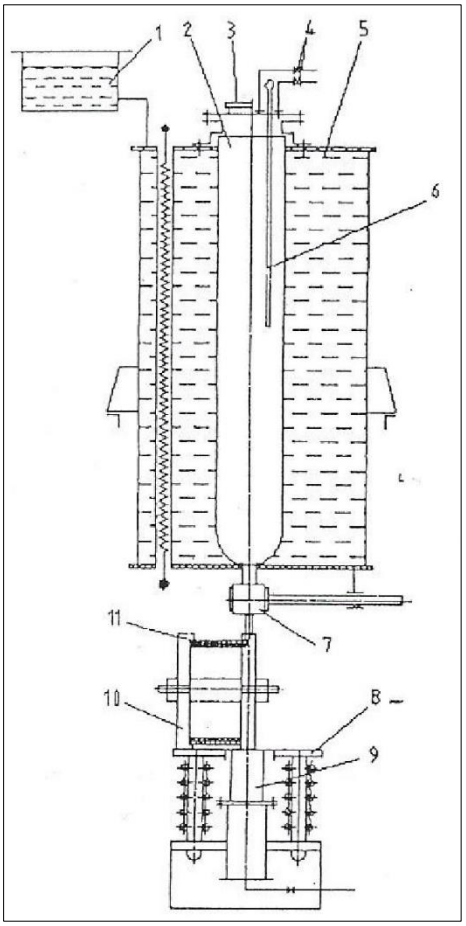


Рис.2.5. Схема автоклавной установки для изготовления литых деталей

Масло из бака 1 поступает в масляную ванну 5, обогреваемую электронагревателями 12. Автоклав 2, помещенный в масляную ванну, имеет люк 3 для загрузки капрона, кран 4 для продувки азотом и кран 7 для выпуска размягченного капрона в пресс-форму 11, установленную на столе 8 в кондукторе 10. Приспособлением 9 пресс-форма плотно прижимается к соплу крана 7.

Перед загрузкой капрона установка с открытым люком разогревается до 150–180°С. После загрузки материала воздух из автоклава вытесняют азотом, поступающим из баллона через кран 4. Капрон нагревают до 270–275°С в течение 4–5 часов, при этом температура масла в ванне достигает 280–290°С. Температуру нагрева капрона измеряют с помощью термопары 6. Заполнение формы капроном происходит в течение 10–20 секунд в зависимости от веса изделия под давлением азота 1,0–1,5 МПа. Отлитые изделия нормализуют в кипящей воде или в масле.

Выдавливание (экструзия) этот способ переработки термопластов отличается от других непрерывностью, высокой производительностью процесса и возможностью получения на одном и том же оборудовании большого многообразия деталей.

Выдавливание или экструзия заключается в том, что пластмассу заставляют течь через формующее отверстие (фильеру). Этот процесс

выполняется с помощью экструдеров чаще всего шнекового типа (червячных машин). Схема установки показана на (рис. 2.6).

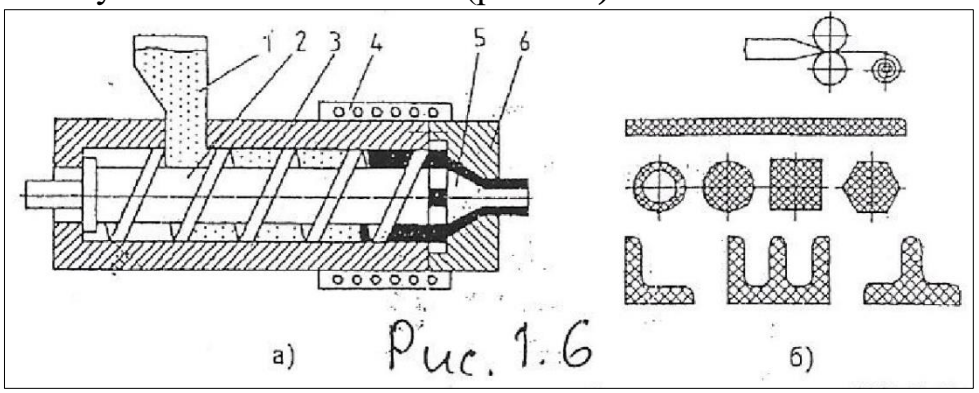


Рис.2.6. Схема установки

Перерабатываемый материал в виде порошка или гранул из бункера 1 (рис. 2.6а) попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. В результате передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязко-текучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5. Оправку применяют для получения отверстий при выдавливании *труб.*

Непрерывным выдавливанием можно получать детали самого *различного профиля* (рис. 2.6 б). Для получения листового материала используют щелевые головки шириной до 1600 мм. Выходящее из щелевого отверстия полотно проходит через валки гладильного и тянущего устройств. Здесь же происходит предварительное охлаждение листа, а на роликовых конвейерах – окончательное охлаждение.

Для получения пленок из термопластов (полиэтилена, полипропилена и др.) используют метод раздува. Схема установки для изготовления *пленок из полиэтилена* приведена на (рис. 2.7).

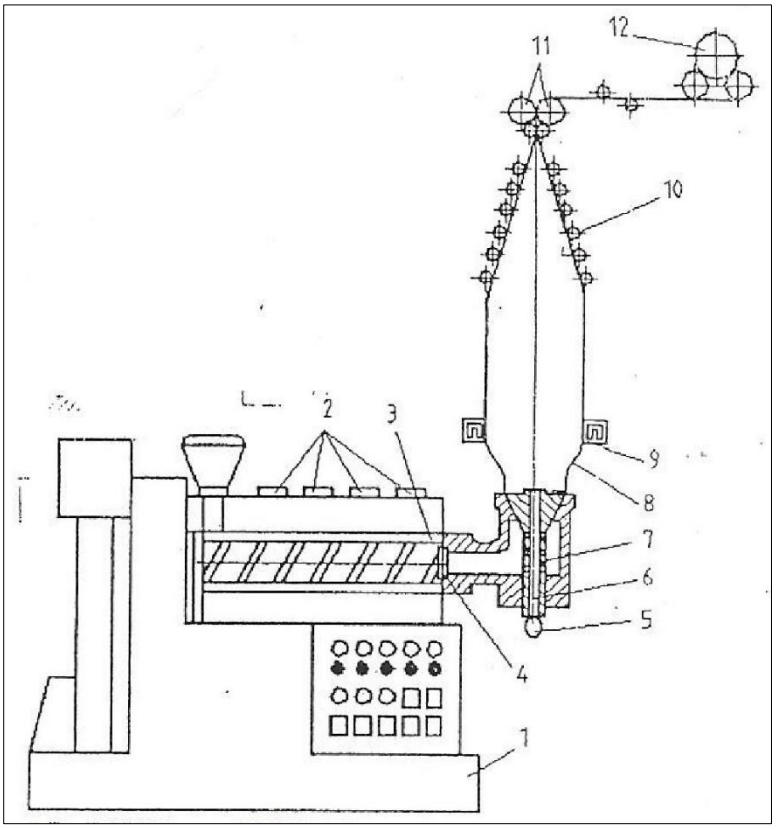


Рис.2.7. Схема установки.

Гранулы полиэтилена поступают через воронку в камеру червячной машины 1 с электронагревательным элементом 2. За счет нагрева полиэтилен переходит в вязкотекучее состояние. Червяком 3 полиэтилен через фильтр 4 подается в кольцевую головку 7 для получения трубки 8. К головке подводится горячий воздух, который поступает через дорн-отверстие 6 в трубку и раздувает ее. Трубка проходит через систему охлаждения 9 и между направляющими роликами 10 к захватывающим роликам 11, затем разрезается для получения ленты или листа и наматывается на барабан 12.

Дутьевое и вакуумное формование

Оно применяется для изготовления деталей из термопластов при формировании тонкостенных крупногабаритных изделий из органических стекол и винипласта.

Для получения изделий из этих материалов на заготовительном этапе производят вырезку заготовок из листа с учетом усадки (3–6%), нагревают их до эластичного состояния и прессуют.

На (рис. 2.8) приведена схема универсальной пневматической камеры с подвижным столом и нагревателем.

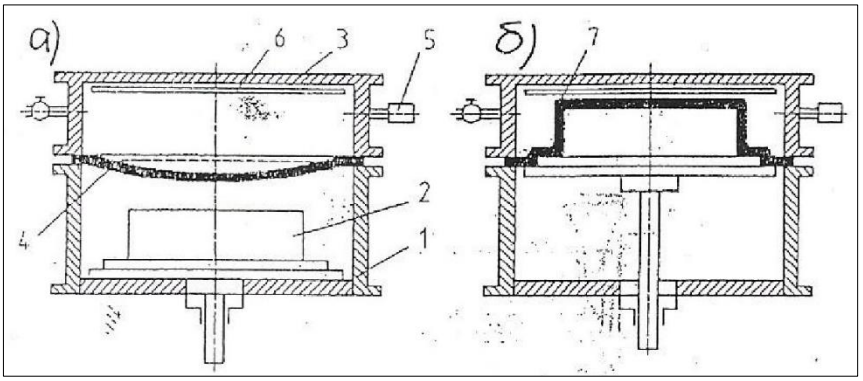


Рис.2.8. Схема универсальной пневматической камеры

Форма имеет нижнюю 1 и верхнюю 3 пневматические камеры и нижний пуансон 2. Лист термопласта 4 укладывают в форму, с помощью электронагревателя 6 придают ему эластичное состояние и уплотняют по периметру давлением пресса. Пуансон, имеющий форму изделия 7, поднимается плунжером вверх до заданной высоты и производит вытяжку изделия. Затем в камеру через штуцер 5 подается сжатый воздух для окончательной опрессовки изделия на пуансоне. После охлаждения изделия за счет продувки холодным воздухом пуансон опускается, верхняя камера поднимается вверх, и изделие вынимается из формы.

Для изготовления *изделий с глубокой вытяжкой* применяют универсальную двухкамерную пневматическую оснастку со сменными матрицей и пуансоном (рис. 2.9).

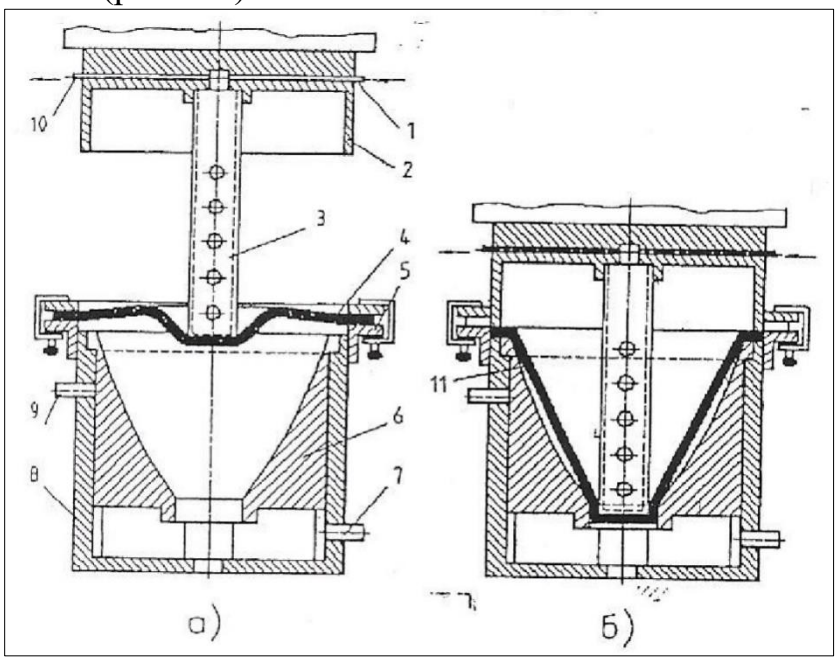


Рис.2.9. Схема универсальной двухкамерной пневматической оснастки

Нижняя камера 8 имеет штуцера 7 и 9 соответственно для подачи и выпуска воздуха в сменную матрицу 6, заменяемую другой матрицей для изготовления деталей иной конфигурации. В нижней камере нагретая до эластичного состояния заготовка 4 закрепляется кольцом, плотно прижатым

струбцинами 5. Верхняя камера 2 имеет впускной штуцер 1, выпускной штуцер 10 и сменный полый пуансон 3 с отверстиями для прохождения воздуха.

Для получения равномерной толщины стенки изделия первоначально разогретая заготовка выдувается сжатым воздухом вверх на некоторую величину. После этого пуансон 3 опускается вниз, осуществляя вытяжку заготовки. Затем в верхнюю камеру подается сжатый воздух, который, проходя через отверстия в пуансоне, раздувает заготовку, придавая ей окончательно требуемую форму.

При изготовлении изделий простой формы может применяться *свободное дутьевое формование*, схема которого приведена на (рис. 2.10).

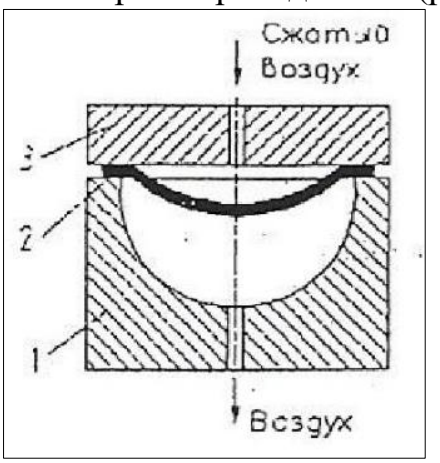


Рис.2.10. Схема свободного дутьевого формования

Предварительно нагретый до высокоэластичного состояния лист термопласта 2 помещают на поверхность матрицы 1, имеющей формообразующую полость, и прижимают по периферии плитой 3. Затем через отверстия в ней подается сжатый воздух, под действием которого заготовка из термопласта принимает необходимую форму. После охлаждения заготовки путем подачи сжатого воздуха в нижнее отверстие матрицы происходит извлечение изделия.

Полые изделия из термопласта (*бутылки, флаконы и другие емкости)* изготовляют методом раздутия до высокоэластичного состояния трубки из термопласта.

Схема такого формообразования представлена на (рис.2.11).

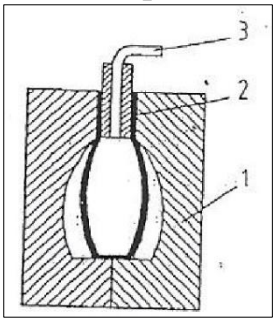


Рис.2.11. Схема формообразования

Подогретый трубчатый термопластичный материал 2, заглушенный с одного конца, укладывают в разъемную металлическую форму 1 с мелкими отверстиями для удаления воздуха из пространства между формой и

заготовкой. Заготовка из термопласта, насаженная на металлическую трубку, плотно зажимается в пресс-форме. К концу трубки 3 подводится подогретый сжатый воздух, которым трубчатая заготовка прижимается к стенкам формы и таким образом принимает требуемые размеры и форму.

При вакуумном формообразовании создают вакуум по одну сторону размягченного листа и под действием атмосферного давления лист термопласта плотно прижимается к формообразующей поверхности матрицы или пуансона.

Схема вакуумного формообразования приведена на (рис. 2.12).

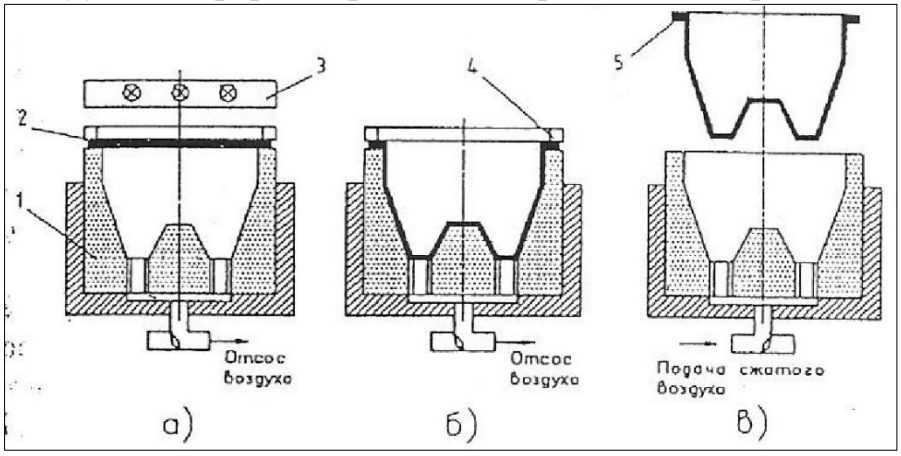


Рис.2.12. Схема вакуумного формообразования

После разогрева листа 2 термопласта с помощью специальной плиты обогрева 3 из матрицы 1 откачивается воздух, и лист всасывается в полость матрицы, приобретая форму требуемой детали. После охлаждения изделие сжатым воздухом выталкивается из матрицы.

Получение деталей из композиционных пластиков

С технологической точки зрения в этом случае удобно использовать отдельные пластмассы, находящиеся в жидком состоянии при нормальной температуре.

В первую очередь это относится к производству крупногабаритных деталей из композиционных пластиков. Пластики состоят из связующей смолы, наполнителя и в некоторых случаях отвердителя и ускорителя отверждения. В качестве связующего предпочтительнее использовать полиэфирные и эпоксидные смолы. Эти смолы характеризуются высокой адгезией к наполнителю и способностью отверждаться при нормальной температуре.

При серийном производстве формообразование изделий из стеклопластика осуществляется в замкнутой полости между жесткими и эластичными частями пресс-формы, как показано на (рис. 2.13).

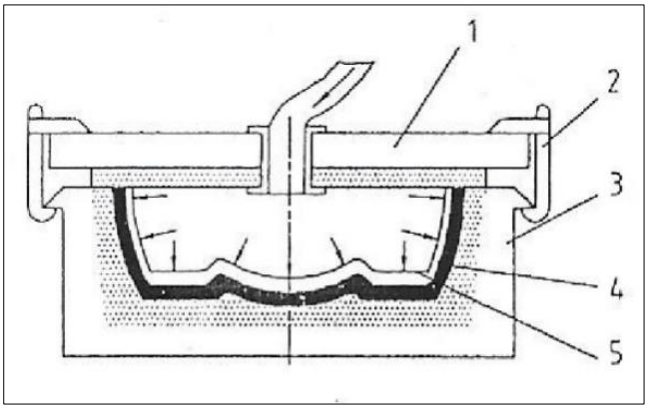


Рис.2.13. Схема формообразования

Заготовка 4 из *пропитанной смолой стеклоткани* укладывается на формообразующие элементы матрицы 3. Сверху устанавливают резиновый чехол 5, выполняющий роль эластичного пуансона. С помощью струбцин 2 верхняя плита 1 герметично прижимает края резинового чехла к плоскости матрицы. Затем через отверстие в верхней плите в полость резинового чехла вводят под давлением 0,15–0,5 МПа сжатый воздух, пар или воду. Такой способ формообразования обеспечивает равномерное уплотнение стеклопластика и получение изделий с высокими механическими свойствами.

Для получения сложных изделий высокого качества рационально использовать **автоклавный способ формообразования** (рис. 2.14).

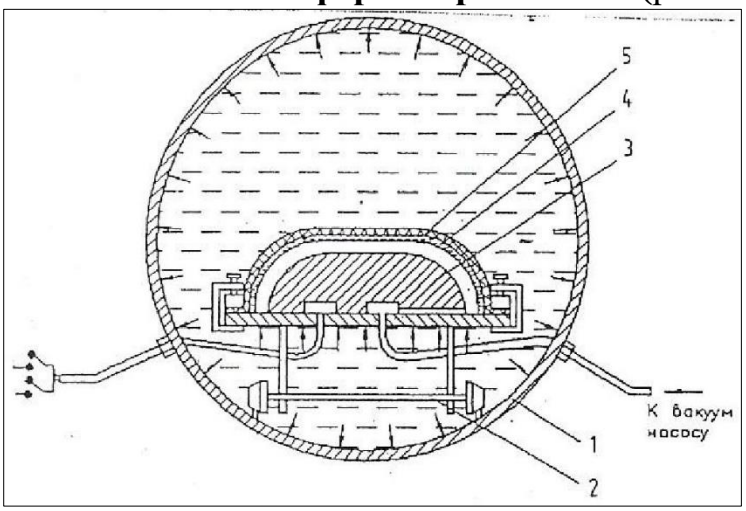


Рис.2.14. Схема автоклавный способ формообразования

Пресс-форму 3 с эластичным резиновым чехлом 5, заполненную стеклотканью 4, пропитанными смолой, на тележке 2 помещают в автоклав 1, и под давлением пара или горячего воздуха происходит равномерное уплотнение стеклопластика.

При производстве крупногабаритных изделий с наполнителями из стеклотканей, стекломатов и т. д. применяют **контактный способ формовки**, который отличается простотой процесса и применяемого оборудования. (рис. 2.15)

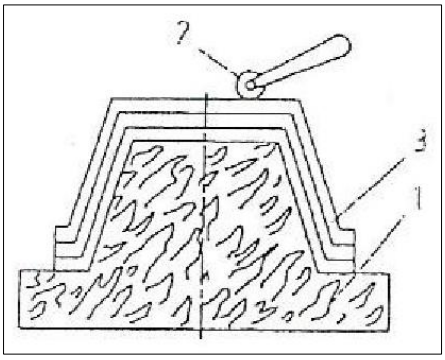


Рис.2.15. Схема контактного способа формовки

Перед формовкой на рабочие поверхности формы 1 наносят разделительный слой (поливиниловый спирт, нитролаки, целлофановую пленку и др.), предотвращающий прилипание связующего к поверхности формы. По разделительному слою наносят слой связующего, затем слой предварительно раскроенной ткани 3, которую тщательно прикатывают резиновым роликом 2 к поверхности формы. Этим достигается плотное прилегание ткани к поверхности формы, удаление пузырьков воздуха и равномерное пропитывание ткани связующим. Затем снова наносят слой связующего, после этого ткань и т. д. до получения заданной толщины. Отверждение происходит при нормальной температуре в течение 5–50 часов, в зависимости от вида связующего. После отверждения готовую деталь извлекают из формы и в случае необходимости подвергают дальнейшей обработке (обрезке кромок, окраске и т. д.).

Способом контактной формовки можно получать детали любых размеров и форм. Однако он малопроизводителен, качество полученных деталей недостаточно высокое из-за неравномерной укладки наполнителя и связующего. Кроме того, к нему предъявляются определенные требования по технике безопасности. Поэтому контактную формовку применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

Приведенные способы формовки используют в основном для изготовления деталей из стеклопластиков с длинноволокнистыми наполнителями. При применении измельченных наполнителей процесс изготовления деталей удается механизировать. Наполнитель и связующее подают под давлением сжатого воздуха.

На (рис. 2.16) показана схема установки для предварительного формования *изделий из рубленого стекловолокна* **методом насасывания**.

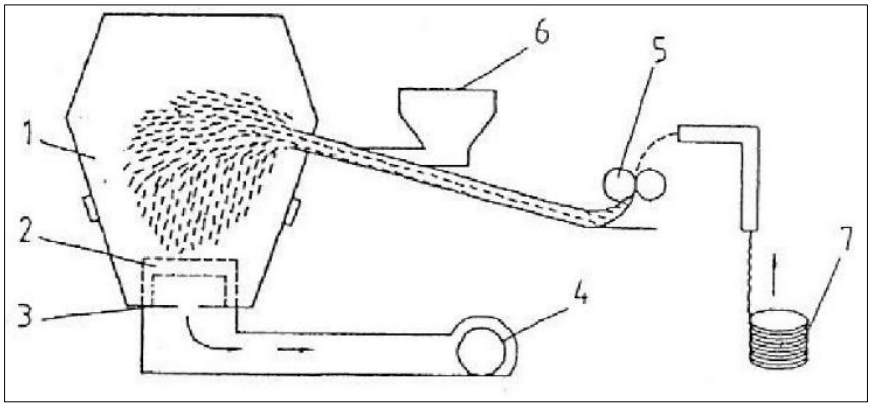


Рис.2.16. Схема установки для предварительного формования изделий из рубленого стекловолокна методом насасывания

Сетчатая форма 2 устанавливается на вращающийся столик 3, расположенный в рабочей камере 1. Волокно из бобины 7 проходит через устройство 5 для нарезки и далее по патрубку в рабочую камеру 1. Через воронку 6 в камеру также подается связующее вещество. С помощью вентилятора 4 происходит всасывание в рабочую камеру нарезанного стекловолокна вместе со связующим веществом, которые, закрепляясь на поверхности формы, осуществляют предварительное формообразование изделия.

Высокой степенью механизации отличается **способ вихревого напыления** с помощью передвижной установки, схема которой приведена на (рис. 2.17).

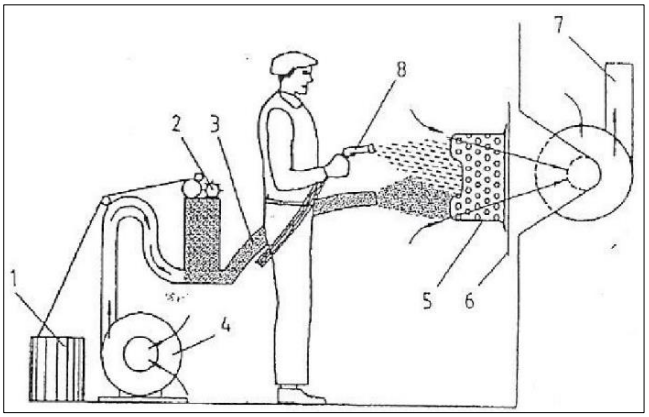


Рис.2.17. Способ вихревого напыления

В этом случае перфорированная форма 5 устанавливается на вращающемся столе 6, с противоположной стороны которого смонтирована вытяжная вентиляция 7. Волокно с бобины 1 поступает на устройство для нарезки 2 и с помощью нагнетающего вентилятора 4 по гибкому шлангу подается в зону напыления. С помощью пистолета 2 рабочий подает в эту зону связующее вещество в распыленном виде. Смешение компонентов происходит на поверхности формы или перед ней в потоке сжатого воздуха.

2.1.1. Сварка пластмасс

Термопласты хорошо свариваются тепловыми методами, процесс сварки происходит при температуре выше температуры размягчения, но ниже температуры разложения пластмасс при их вязкотекучем состоянии, под давлением.

По использованию источников нагрева все способы сварки пластмасс можно разделить на две группы. К первой относятся способы сварки, в которых используется тепло посторонних источников нагрева, в частности:

1 – нагретым газом;

2 – нагретым инструментом;

3 – нагретым присадочным материалом.

При реализации перечисленных методов тепло передается к месту соединения свариваемых деталей за счет конвекции, теплопроводности и частичного лучеиспускания.

Ко второй группе относятся способы сварки пластмасс, в которых тепло генерируется непосредственно внутри пластмассы при преобразовании различных видов энергии. При этом используется энергия:

1 – трения;

2 – токов высокой частоты;

3 – ультразвуковых колебаний;

4 – инфракрасного излучения.

Каждый из способов соединения пластмасс имеет свои определенные преимущества и недостатки, и в зависимости от характера материала, вида и назначения изделия, серийности выпуска и т. д. предпочтение может быть отдано тому или иному из перечисленных способов сварки.

2.2. Технология производства оптических деталей и изделий медицинского назначения

2.2.1. Технология изготовления контактных линз

Контактные линзы, которые непосредственно надеваются на глазные яблоки под веки, получили в последнее время широкое распространение для коррекции зрения при близорукости, дальнозоркости и астигматизме. Основное отличие зрения в контактных линзах по сравнению с очками состоит в отсутствии так называемого вертексного расстояния (расстоянием между линзой и глазом), которое для очков составляет порядка 12 мм. (рис. 2.18)

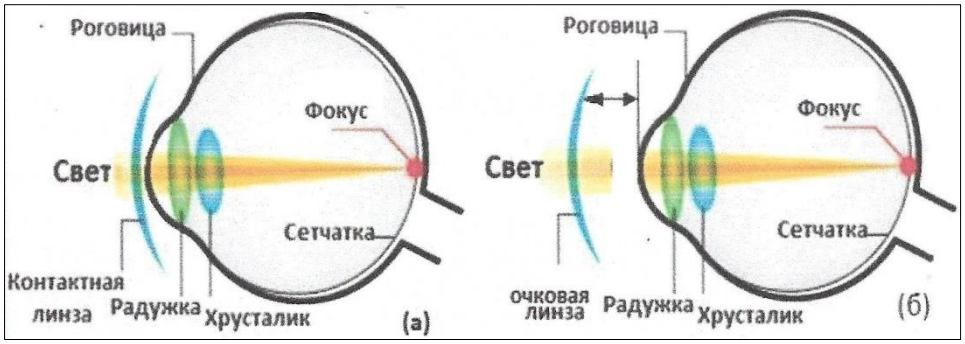


Рис.2.18. Контактные линзы

Благодаря этому, размер изображения на сетчатке глаза при использовании контактных линз, в отличие от очков, не меняется, что делает возможным их применение при большой разнице в оптической силе обоих глаз. Кроме того, отличается от очков требуемая для достижения оптической коррекции сила контактной линзы. Она меньше при использовании минусовых линз (при близорукости) и больше при использовании плюсовых линз (при дальнозоркости). Преимуществом контактных линз также является отсутствие ограничения поля взора из-за очковой оправы.

На (рис. 2.19) показано сечение контактной линзы и приведены ее геометрические параметры.

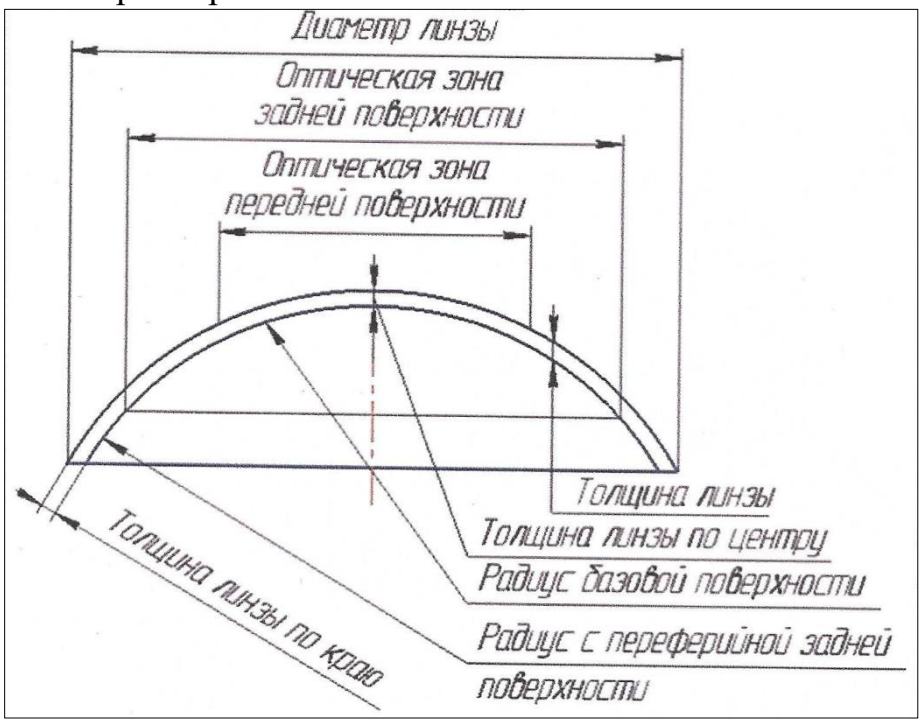


Рис.2.19. Схемы сечение контактной линзы

Геометрия задней поверхности линзы в значительной степени влияет на характер посадки на роговицу. В связи с тем, что роговица постепенно уплощается к периферии, для достижения оптимального соответствия между линзой и роговицей в линзе следует делать постепенный переход к более плоской форме. Как правило, это достигается созданием конструкций с одной или несколькими более плоскими периферическими поверхностями.

Оптическая зона задней поверхности – это центральная часть задней поверхности линзы, которая имеет форму круга, а ее размер определяет величину части линзы, используемой для получения изображения. Оптическая зона должна быть больше зрачка глаза. Так размер оптической зоны для типичной твердой линзы находится в пределах 7-9 мм, а для типичной мягкой – 7 - 13,5 мм.

Оптическая зона передней поверхности – это центральная оптическая часть передней поверхности линзы, ее размер лежит в пределах 7,5-10,5 мм.

Диаметр линзы обычно составляет 13-15 мм для типичной мягкой линзы и 8-10 мм для жесткой линзы. От диаметра зависит посадка и удобство ношения линзы.

Радиус периферической кривой задней поверхности может характеризоваться одним или несколькими значениями.

Ширина периферической кривой - это ширина периферической части задней поверхности линзы, которую называют также зоной скольжения контактной линзы.

Высота сегмента - это расстояние между плоскостью, касательной к наружным краям линзы и вершиной задней поверхности. Чем меньше радиус базовой кривизны, тем больше высота сегмента.

Толщина линзы по центру составляет обычно 0,035-0,5 мм для мягких линз и 0,08-0,12 мм для жестких линз.

Толщина линзы по краю составляет, как правило, 0,01-0,12 мм для мягких линз и 0,08-0,12 мм для жестких линз.

Конфигурацией края определяется удобство ношения и обращения с линзой.

В зависимости от профиля преломляющих поверхностей в оптической зоне контактные линзы можно разделить на 4 основных типа:

– линзы с двумя сферическими поверхностями применяются для коррекции сферической аметропии. При коррекции миопии радиус первой поверхности больше радиуса второй, а при коррекции гиперметропии – радиус первой поверхности меньше радиуса второй;

– линзы со сферической задней и торической передней поверхностью применяются для коррекции остаточного астигматизма, когда имеется нейтрализация хрусталикового и роговичного астигматизма (последний не выше 2 дптр). Контактная линза нейтрализует роговичный астигматизм, при этом начинает проявляться хрусталиковый астигматизм, который и корригируется торической поверхностью контактной линзы;

– линзы с торической задней и сферической передней поверхностью применяются при роговичном астигматизме глаза;

– линзы с обеими торическими поверхностями.

При контактной коррекции астигматизма необходимо обеспечить ориентацию линзы в соответствии с положением главных сечений астигматического глаза.

Линзы с задней торической поверхностью, используемые при значительной величине роговичного астигматизма, удерживаются в требуемом положении и не вращаются именно благодаря асферичности роговицы и задней поверхности линзы. Если базовая поверхность сферическая, то для удержания линзы создается балласт либо в виде призматического утолщения в нижней части линзы, либо включением металлической добавки в нижнюю часть линзы рис. 2.20).

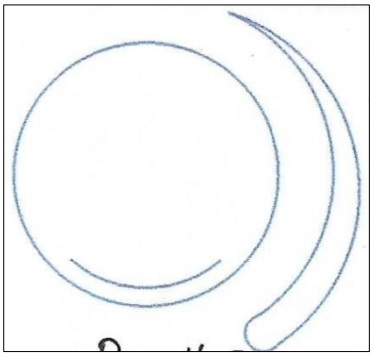


Рис.2.20.

Форма периферийной зоны контактной линзы определяется формой роговицы и удобством ношения. Необходимо, чтобы линза не оказывала давления на эпителий роговицы и не вызывала его травматизацию, поэтому форма базовой (задней) поверхности линзы на периферии за пределами оптической зоны является асферической, имея в среднем меньшую кривизну, чем в оптической зоне. Различают линзы с двойной, тройной и множественной кривизной задней поверхности.

Передней поверхности периферийной зоны придают такую форму, чтобы получить примерно равную толщину на всей периферийной зоне. Особое внимание уделяется конфигурации края контактной линзы: тонкий пологий край повышает комфортность ношения.

В зависимости от того из какого материала изготовлены контактные линзы они разделяются на жесткие и мягкие. В свою очередь жесткие линзы подразделяются на газонепроницаемые и газопроницаемые, а мягкие – на гидрогелеевые и силикон-гидрогелеевые.

Жесткие газонепроницаемые линзы изготавливают из полиметилметакрилата (ПММА), а жесткие газопроницаемые—из комбинации ПММА и кремнийорганических полимеров, хорошо пропускающих кислород. Они прочнее мягких и менее подвержены белковым отложениям.

Первые мягкие контактные линзы изготавливались из гидрогелеевых полимерных материалов, в частности, гидроксиэтилметакрилата (НЕМА). Эти полимеры обладают гидрофильностью, то есть способностью притягивать воду. Гидрогели хорошо совместимы с тканями глаза, насыщенные водой гидрогели очень мягкие, обладают хорошими оптическими свойствами. Кислородная проницаемость гидрогелей прямо пропорциональна содержанию воды в них. Причиной является то, что сам материал непроницаем для воздуха, а функцию переноса кислорода берет на себя содержащаяся в нем вода.

Для повышения содержания воды в состав НЕМА включают различные вещества, которые обеспечивают увеличение числа гидрофильных групп и поперечных сшивок у полимера. От их числа зависит способность гидрогеля всасывать воду и сохранять при этом свою структуру. Однако этого количества кислорода все же недостаточно для того, чтобы носить линзы длительное время. Поэтому они имеют только дневной режим ношения.

Силикон-гидрогелевые контактные линзы представляют собой комбинацию двух сополимеров – гидрогеля и силикона. Гидрогель является

основой материала, а добавленный в химический состав силикон – обладает гидрофильностью, то есть контактная линза уже содержит в себе воду. В связи с этим силикон-гидрогелеевая линза пропускает значительно больше кислорода, что позволяет носить контактные линзы не только в дневное время, но непрерывно в течении недели, и глаза при этом не испытывают гипоксии (кислородного голода).

Материалы для изготовления контактных линз в зависимости от содержания в них воды делятся на 3 группы:

– с низким содержанием воды—до 45%;

– со средним содержанием воды—45—60%;

– с высоким содержанием воды—более 65%.

Следует отметить, что, чем больше содержание воды, тем, как правило, ниже прочность линзы. Жесткие материалы, такие как ПММА, обычно поглощают менее 2% воды, чем и обусловлена их жесткость.

Линзы из материала с низким содержанием воды рекомендуют использовать при рефракции от -1 до -5 дптр. Эти материалы совместимы со всеми способами ухода за контактными линзами, включая тепловую обработку, обработку перекисью водорода, химическими дезинфектантами. Такие материалы поглощают мало белка, что удлиняет их срок службы. Линзы из такого материала имеют повышенную прочность на разрыв. По сравнению с линзами из материала с высоким содержанием воды. Поскольку материалы с низким содержанием воды не поглощают консерванты, то не возникает проблема с обесцвечиванием, как у материалов с высоким содержанием воды. Линзы из материала с низким содержанием воды могут изготавливаться токарной обработкой, литьем в форму и центробежным литьем.

Линзы из материалов с высоким содержанием воды имеют большую кислородную проницаемость и поэтому оптимальнее подходят для изготовления линз больших рефракций, так и отрицательных. Линзы из таких материалов имеют более низкую прочность на растяжение. Эти материалы также отличаются худшей совместимостью с дезинфицирующими средствами. Материалы с высоким содержанием воды склонны к поглощению протеина это приводит к сокращению срока службы таких линз. Контактные линзы с высоким содержанием воды обычно изготавливаются токарной обработкой или литьем.

Линзы из материалов со средним содержанием воды разрабатываются с целью соединить в них преимущества материалов с низким и высоким содержанием воды. Обычно такие материалы имеют хорошие физиологические параметры, позволяют изготавливать тонкие удобные линзы. Недостатком материалов со средним содержанием воды является повышенное поглощение белка.

Показатель преломления линзы зависит от материала и находится в диапазоне между 1,33 и 1,55. Материал с высоким влагосодержанием обычно имеет более низкий показатель преломления. Линза из такого материала имеет большую толщину, чем линза равной оптической силы, но изготовленная из материала с меньшим содержанием воды.

Прозрачная оболочка глаза—роговица, является единственной частью человеческого тела, которая потребляет кислород из атмосферного воздуха, а не из крови. Наличие на ней контактной линзы неизбежно приводит к ограничению доступа кислорода к роговице, а также к затруднению удаления продуктов обмена веществ и, как следствие, к изменению обмена веществ в ней. Поэтому важной характеристикой линзы является кислородопроницаемость. Она определяется отношением объема кислорода прошедшего через единицу площади контактной линзы за единицу времени, обозначается DK (встречаются обозначения dK или Dk) и измеряется в см 3 /(см2 *с). Увеличение диффузии кислорода через контактную линзу достигается путем уменьшения ее толщины, увеличения влагосодержания материала и создание новых материалов с повышенным коэффициентом диффузии кислорода.

Для характеристики доступности кислорода к роговице применяют еще один показатель—эквивалентную кислородную характеристику. Как известно, в воздухе содержится около 21% кислорода. Поэтому значение эквивалентной кислородной характеристики при отсутствии линзы на глазу принято 21%. При ношении линзы эта характеристика может снижаться до 4 %. Измерения проводятся на живом глазу путем размещения на роговице датчика с кислородной камерой.

К числу важных характеристик материалов и особенно контактных линз относятся так же биосовместимость, нетоксичность, устойчивость к раздражению микроорганизмов, устойчивость к образованию белковых отложений, смачиваемость (для жестких линз), легкость в обращении и легкость очистки и дезинфекции.

Производство современных жестких и мягких контактных линз базируется на следующих основных технологиях:

-точение (токарная обработка);

-центробежное формование;

-литье;

-обратный реверсный процесс.

Изготовление контактных линз точением. Основным методом формирования таких линз является механическая обработка, включающая точение и последующее полирование их поверхностей. Технологический процесс состоит из следующих основных этапов: заготовительного; точение вогнутой поверхности линзы; ее полирование; точение выпуклой поверхности; ее полирование; контроля качества оптики; обработки края, окончательного контроля линзы и гравирования.

Заготовительный этап. Для изготовления жестких контактных линз используются цилиндрические заготовки из полиметилметакрилата диаметром 12–12,5 мм и толщиной 4–5 мм. Заготовки такого размера получают из листового материала путем их высверливания с помощью трубчатых инструментов. На этом же этапе для снятия внутренних напряжений осуществляют отжиг полученных заготовок. С этой целью их помещают в термошкаф, где они находятся в течение 8 ч при температуре 130–135 °С. Затем в течение последующих 8–10 ч температуру плавно снижают до комнатной.

Точение вогнутой поверхности. Предварительно с помощью специального наклеечного воскового материала заготовку наклеивают (блокируют) в центре нагретой стальной подложки-спутника. Затем спутник с наклеенной заготовкой закрепляется в цанге специального сферотокарного станка (КП61) для точения вогнутой поверхности линзы. Схема точения представлена на (рис. 2.21).

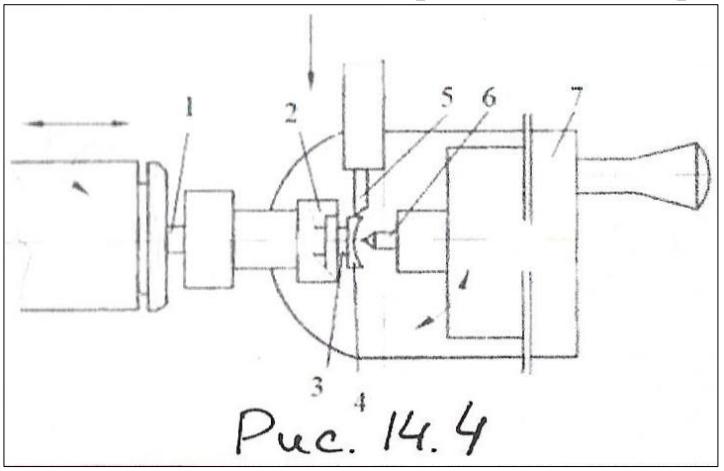


Рис.2.21.

Обработка контактной линзы начинается с протачивания заготовки до заданного диаметра с припуском 0,1 мм на формирования края. Для этого используется стальной резец 5, установленный на поперечном суппорте станка. Далее с помощью алмазного резца 6, установленном на поворотном суппорте 7, начинают обработку вогнутой поверхности заготовки 4. Последняя установленная на спутнике 3, закрепленном в цанговом патроне 2 внутри шлифовальной головки 1.

Точение начинают с поверхности большего радиуса, в ходе которого производят несколько последовательных проходов с глубиной резания 0,2 мм для черновой обработки и с глубиной резания 0,01 мм–для чистовой. После этого устанавливают требуемый радиус поворотного суппорта станка и осуществляют точение поверхности меньшего диаметра.

Полирование вогнутой поверхности. Эта операция начинается с полирования оптической зоны линзы. Сначала подготавливают к работе соответствующий полировальник. Для этого отлитую заготовку воскового полировальника устанавливают на сферотокарный станок КП62 (для обработки выпуклых поверхностей), на котором протачивают рабочую поверхность полировальника требуемого радиуса. Схема полирования вогнутой поверхности заготовкилинзы показана на (рис. 2.22).

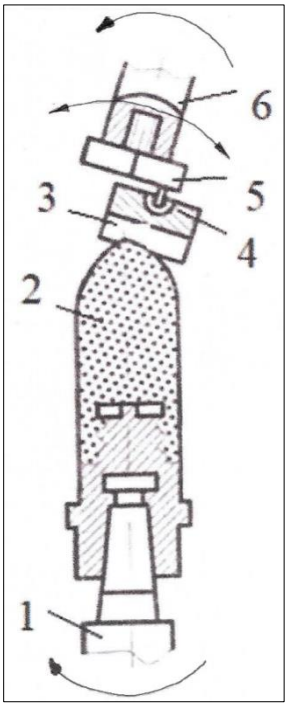


Рис.2.22.

Изготовленный притир-копировальник 2 устанавливают на нижний шпиндель 1 доводочного станка. Приклеенную к спутнику 4 заготовку линзы 3 помещают на притир и удерживают поводком 5 верхнего шпинделя 6. Последнему помимо вращательного сообщается возвратно-качательное движение.

Полирование производится в течение 1—2 мин с применением полирующей суспензии. Периферийные зоны заготовки линзы полируют на вертикально шпиндельном станке с помощью специально изготовленных грибков, обтянутых медицинским лейкопластырем. Выбор радиуса соответствующего грибка производится с учетом толщины пластыря.

Точение выпуклой стороны. На предварительно нагретую оправку с центральным отверстием и радиусом, соответствующим радиусу оптической зоны заготовки, наносят наклеечный воск и приклеивают заготовку со стороны обработанной вогнутой поверхности. С помощью специального приспособления заготовку центрируют на оправке с точностью 0,02—0,04 мм. После остывания оправку с отцентрированной на ней заготовкой линзы устанавливают на посадочный конус сферотокарного станка КП62 для обработки выпуклой поверхности. Точение осуществляется так же за несколько проходов (аналогично обработке вогнутой поверхности) до тех пор, пока в центре линзы будет достигнута заданная толщина, которая контролируется толщиномером.

Полирование выпуклой поверхности. Для этого вначале на сферотокарном станке КП61 протачивают рабочую поверхность заготовленного притира полировальника, радиус рабочей поверхности которого соответствует кривизне оптической зоны выпуклой поверхности линзы. Полирование этой

поверхности производят на доводочном станке КП65 с применением полирующей суспензии (рис. 2.23.).

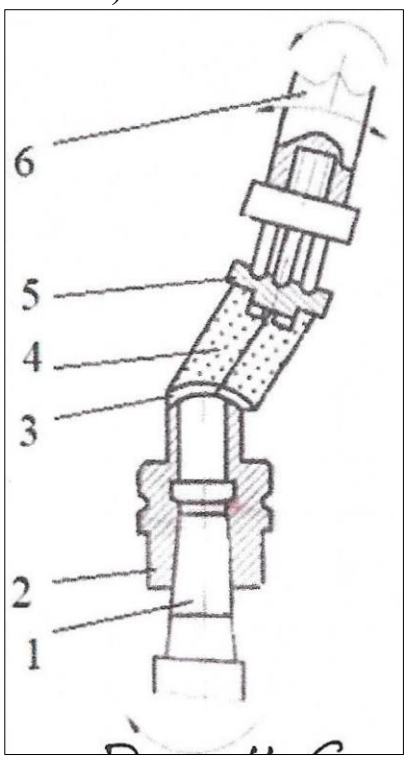


Рис.2.23.

Оправку 2 с наклеенной заготовкой 3 устанавливают на конус нижнего шпинделя 1 доводочного станка. На выпуклую поверхность линзы помещают притир-полировальник 4, смоченный полирующей суспензией. Три штыря поводка 5 верхнего шпинделя 6 фиксируют в лунках подложки притира. В процессе обработки верхнему шпинделю помимо вращательного сообщается возвратно-качательное движение. Продолжительность полирования 1–2 мин.

Обработка края. Эту операцию выполняют на специальном станке КП63, предназначенном для обработки края контактных линз.Схема данной операции показана на (рис. 2.24).

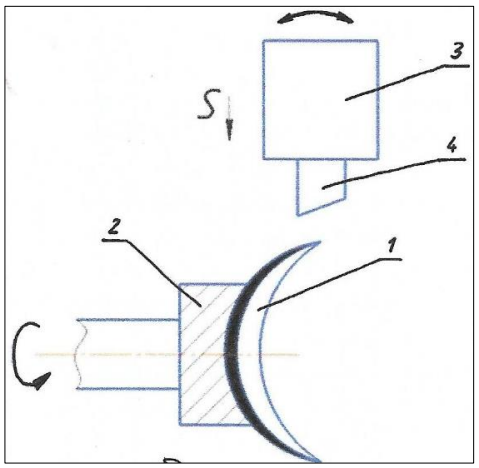


Рис.2.22.

Обрабатываемую заготовку 1 центрируют и приклеивают выпуклой стороной к специальному спутнику 2 с помощью наклеенного воска. При этом диаметр спутника меньше общего диаметра линзы на величину выхода резка 4 при обработке переходной конической поверхности на выпуклую поверхность линзы, обрабатывают режущей кромкой резца. Поперечный суппорт 3 устанавливают таким образом, чтобы при обработке края получился необходимый диаметр линзы.

Резец подводят к кромке линзы до касания под углом, обеспечивающим плавный переход внутренней поверхности к радиусу закругления. Далее поворотом суппорта край линзы закругляется и обрабатывается конус со стороны выпуклой поверхности линзы. Обработку осуществляют под микроскопом.

После формирования края на вертикально шпиндельном станке или на шпинделе станка КП63 производят полирование края линзы фетром, смоченным полирующей суспензией.

Изготовления мягких контактных линз точением

Изготовление мягких контактных линз точением осуществляется на том же оборудовании, что и обработка жестких контактных линз. Однако имеется ряд специфических особенностей.

Во-первых, для изготовления мягких линз применяют высушенные цилиндрические заготовки диаметром 15±0,1 мм и толщиной 5–6 мм. Высушенный гидрофильный материал в целях сохранения стабильности основных свойств должен содержаться в герметично закрытых футлярах-контейнерах.

При производстве мягких контактных линз необходимо поддерживать в рабочем помещении постоянную температуру (22±2 оС) и влажность (45±5 %) воздуха, что достигается установкой кондиционеров и вытяжек при закрытых дверях и окнах. Соблюдение этих условий является обязательным, т. к. гидрофильный материал адсорбирует воду из атмосферы помещения, набухает и изменяет свои свойства.

Во-вторых, линзы обрабатываются в сухом состоянии, а затем подвергаются гидратации. При этом размеры линзы в сухом состоянии и гидратированном существенно различны. Поэтому перед обработкой рассчитывают оптические и геометрические параметры линзы в жестком (сухом) состоянии, исходя из заданных параметров линзы в мягком гидратированном состоянии.

В-третьих, окончательный контроль готовых мягких контактных линз в гидратированном состоянии проводят в жидкой среде и недеформированном виде.

Формообразование заготовок в твердом состоянии, т. е. точение и полирование их поверхностей осуществляется таким же образом, как и для жестких линз.

После обработки и контроля линз в твердом состоянии их тщательно очищают и помещают в контейнер с физиологическим раствором и выдерживают там до полного набухания в течении 48 ч. После гидратации

производят контроль геометрических и оптических параметров линзы в мягком состоянии.

Дезинфекцию проводят в течении 20 мин в 10 %-м растворе перекиси водорода. Затем гидратированные линзы тщательно очищают и упаковывают.

Следует отметить, что линзы, изготовленные точением, как правило, несколько толще чем линзы, изготовленные другими методами, и вследствие этого имеют меньшую кислородную проницаемость.

Точение является более дорогостоящим методом, чем центробежное формирование или литье. Однако этот метод эффективен при изготовлении небольших партий линз, линз со сложной геометрией или по индивидуальному заказу для конкретного пациента.

Изготовление мягких контактных линз методом центробежного формования

Этапы изготовления мягкой контактной линзы данным методом показаны на (рис. 2.25).

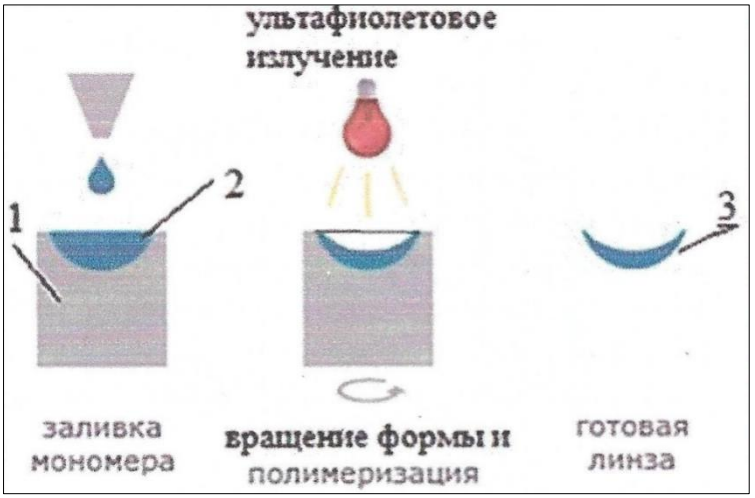


Рис.2.25.

Специальная формочка 1 с вогнутым дном и цилиндрическими стенками заполняется необходимым количеством мономера 2.

В процессе ее вращения на специальной установке под действием центробежных сил состав растекается по ее внутренней поверхности. Полимеризация линзообразующей смеси осуществляется за счет ультрафиолетового излучения. После этого из формочки извлекается готовая линза 3. На параметры полученной линзы существенное влияние оказывают объем мономера и частота вращения формочки.

Центробежное формование является простым и дешевым методом изготовления мягких контактных линз. Оно обеспечивает хорошую воспроизводимость и стабильность параметров линзы и дает очень тонкий и комфортный край. Линзы, полученные этим методом, имеют малую толщину и обладают асферической геометрией поверхности, хорошо соответствующей геометрии роговицы глаза. Кривизна линзы постоянно уменьшается от центра к периферии.

К недостаткам метода следует отнести невозможность получения линз со сложной геометрией, например, торических мягких контактных линз.

Изготовление мягких контактных линз литьем

По сравнению с точением получение линз литьем является менее трудоемким. При больших масштабах производства этот метод позволяет изготавливать достаточно дешевые линзы.

Предварительно для каждого набора параметров линз изготавливается своя металлическая матрица. Далее по этой матрице изготавливаются формочки.

На (рис. 2.26) схематично представлены основные этапы изготовления мягких контактных линз литьем.

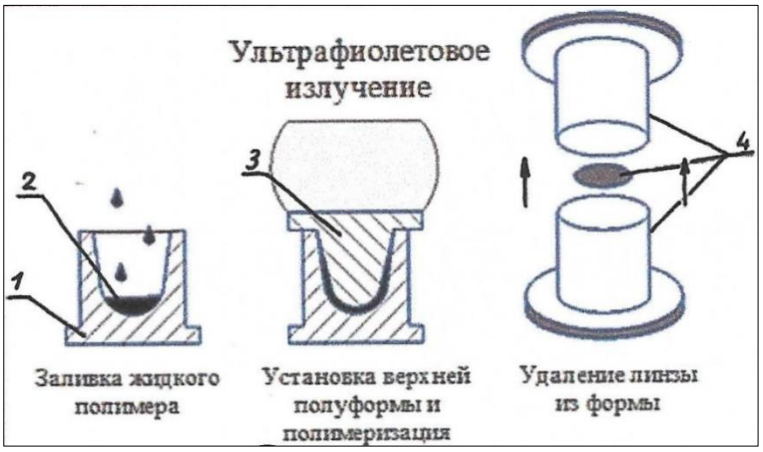


Рис.2.26.

В нижнюю половину формы 1 дозировано заливают жидкий полимер 2. Затем сверху внутрь этой половины формы вставляют верхнюю часть формы 3. Образующаяся между ними формообразующая полость заполняется жидким полимером. После этого происходит облучение всей формы ультрафиолетовым излучением, в результате чего происходит полимеризация полимера, и полученная линза 4 удаляется из формы.

Преимуществами данного метода изготовления мягких контактных линз является: высокая стабильность повторения параметров линзы; возможность изготовления линз сложной геометрии (торические и др.); высокие оптические свойства линзы, низкая стоимость производства. Кнедостаткам следует отнести трудности изготовления линз с большими диоптриями, возможна децентрация линзы.

Изготовление мягких контактных линз обратным реверсивным процессом

Обратный реверсивный процесс совмещает в себе две технологии: центробежного формования и точения. Свое название метод получил из-за того, что сначала изготавливается наружная, а затем внутренняя поверхность линзы. Наружную поверхность получают путем центробежного формования, внутреннюю – точением с последующим полированием. На (рис. 2.27) схематично представлены основные этапы изготовления мягких контактных линз обратным реверсивным процессом.



Рис.2.27.

Как видно, первых два этапа соответствуют центробежному формованию линзы, а остальные три – токарной обработке. Преимущество метода состоит в том, что передняя поверхность линзы получается более гладкой, чем при точении на токарном станке, что придает линзе высокие оптические характеристики, обеспечивает удобство ношения и идеальный профиль кромки. Задняя поверхность, полученная точением, обеспечивает хорошие функциональные качества, включая оптимальную подвижность и центровку. Кроме того, этим методом можно изготавливать линзы со сложной геометрией.

2.3. Технология изготовления упругих элементов изделий медицинского назначения

2.3.1. Упругие чувствительные элементы

В приборостроении очень широкое распространение получили упругие чувствительные элементы, к которым относятся различного типа пружины. В частности, винтовые, спиральные, трубчатые манометрические, мембраны и мембранные коробки и сильфоны. В зависимости от выполняемых функций и, в частности, от рода воспринимаемой и измеряемой нагрузки упругие элементы приборов разделяют на:

– силоизмерительные пружины;
– теплоизмерительные пружины (биметаллы);
– манометрические упругие элементы.

По характеру действия пружины могут быть разделены на четыре группы:
аботающие на сжатие;
аботающие на растяжение;
аботающие на сжатие и растяжение; 4) работающие на кручение.

По точности пружины разделяются на обычные и прецизионные. Последние в отличие от обычных имеют строго постоянную зависимость между деформацией и нагрузкой.

Технология изготовления витых цилиндрических пружин

Витые цилиндрические пружины (рис.2.28), подвергаемые после навивки только отпуску, изготовляются из стальной углеродистой проволоки классов I, II и III с диаметром проволоки от 0,14 до 8 мм.

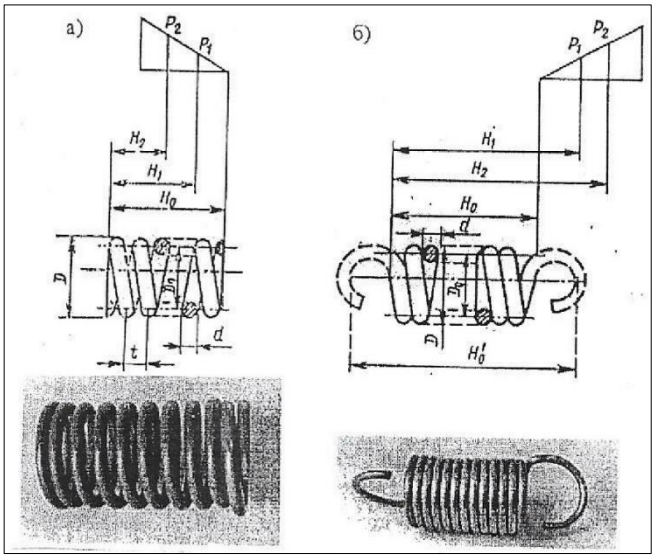


Рис.2.28.

Пружинная проволока класса I используется для больших нагрузок и перемещений. Пружинная проволока класса II используется для пружин, работающих при средних нагрузках. Пружинная проволока класса III используется для пружин, работающих при небольших нагрузках и малых перемещениях.

В общем случае технологический процесс изготовления витых цилиндрических пружин включает следующие операции:

спытание проволоки;

2. навивка заготовок пружин;

азрезание на отдельные пружины (только при навивке на оправку);

лифование торцевых опорных витков пружин, работающих на сжатие (а);

агибка концов крепления (зацепов) для пружин, работающих на растяжение (б);

ермическая обработка;

аневоливание пружин;

окрытие пружин;

онтроль пружин.

Навивка заготовок пружин

Эта операция является наиболее ответственной в техпроцессе изготовления пружин. Применяются два способа навивки пружин:

– на оправку:

– безоправочная навивка.

Схема навивок пружин на оправку показана на (рис. 2.29). Для данной операции используется токарный станок.

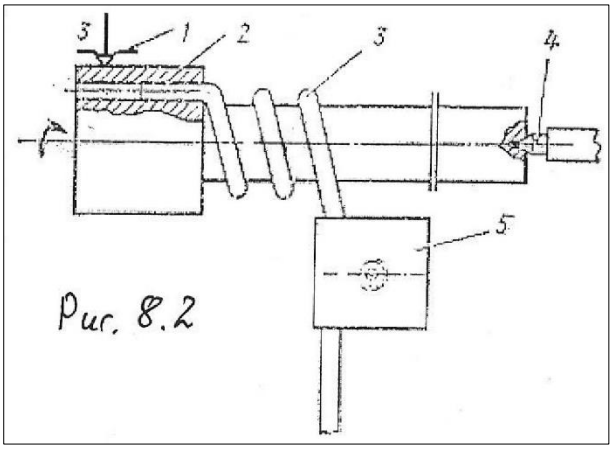


Рис.2.29.

Оправка 2 зажимается с одного конца патроном токарного станка 1, а с другого конца подпирается вращающимся центром 4. Конец проволоки, подлежащий навивке, заправляется в отверстие оправки 2. Для создания натяжения и направления проволоки при навивке она зажимается текстолитовыми пластинками с использованием винтовых креплений резца резцедержателя 5 суппорта токарного станка.

После этого устанавливают требуемый шаг навивки, т.е. необходимое продольное перемещение суппорта на один оборот шпинделя, и включают станок. После навивки пружины с требуемым числом витков, станок выключают и проволоку отрезают на участке между суппортом и бухтой проволоки. Затем пружину снимают с оправки.

Навивку пружин из проволоки диаметром более 8 мм следует производить в нагретом состоянии при t = 850–900 °С. Нагрев осуществляется электрическим током, для чего проволоку перед навивкой подсоединяют к обмотке трансформатора напряжением 2–3 В.

Следует подчеркнуть, что после снятия навитой пружины с оправки её диаметр за счет сил упругости несколько возрастает. Причем это увеличение зависит от большого числа факторов, учесть влияние которых расчетным путем весьма сложно. Поэтому в производственных условиях диаметр оправки для навивки пружин устанавливают опытным путем. Для этого навивают несколько пружин с различными диаметрами оправок, на основе чего устанавливают оптимальный диаметр для навивки данной цилиндрической пружины.

Навивка пружин на оправку является малопроизводительным способом, не обеспечивающим их высокой точности. Применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

В крупносерийном и массовом производствах цилиндрические винтовые пружины изготавливают способом безоправочного навивания, схема которого приведена на (рис. 2.30).

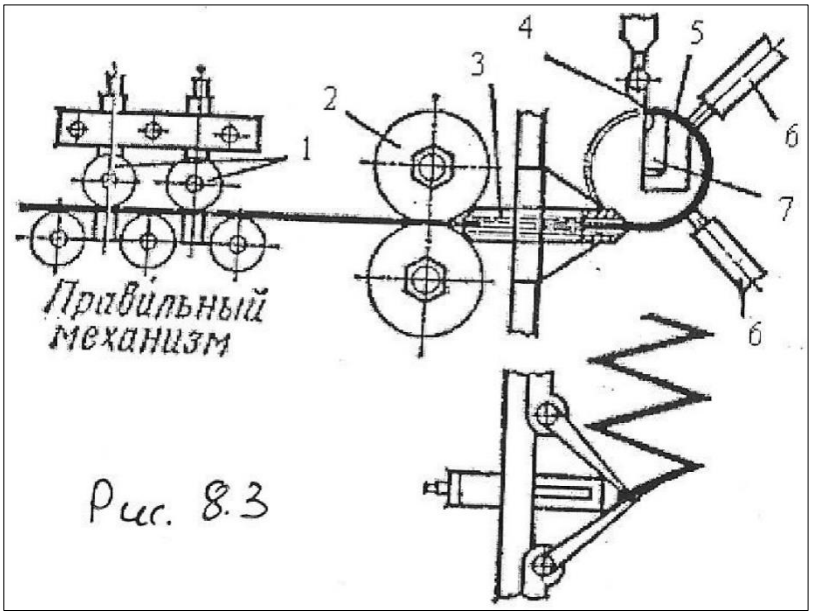


Рис.2.30.

Проволока, поступающая из мотка (бухты), выпрямляется системой роликов 1 и подается транспортирующими роликами 2 через направляющую втулку 3 в зону навивки. Здесь, встречая на своем перемещении навивальные пальцы 6 (упоры), проволока огибается ими вокруг неподвижной опоры 7 (шаблона), образуя пружину 5, которая по мере навивки сходит с опоры. Отрезка пружины осуществляется ножом 4. После установки бухты проволоки и настройки станка, он работает в автоматическом режиме. Производительность по сравнению с навивкой на оправку в 10-20 раз выше при лучшем качестве пружины.

Обработка торцов и заусенцев пружин

Для получения опорных поверхностей у пружин, работающих на сжатие, торцы пружин подвергают шлифованию. При этом выдерживается свободный размер пружины H_0.

В единичном производстве шлифование торцов пружин осуществляют на заточных станках вручную, что не обеспечивает высокого качества обработки.

В серийном производстве шлифование торцов пружин выполняют на плоскошлифовальных станках в приспособлении в виде плиты с отверстиями, равными наружному диаметру пружин, в которые они закладываются. Плита приспособления помещается на магнитный стол станка и закрепляется вместе с пружинами. Пружины, отшлифованные с одного торца, переворачивается и затем шлифуется второй торец.

При массовом изготовлении пружин применяются специальные шлифовальные станки. На (рис. 2.31) показано устройство станка для двухстороннего шлифования пружин.

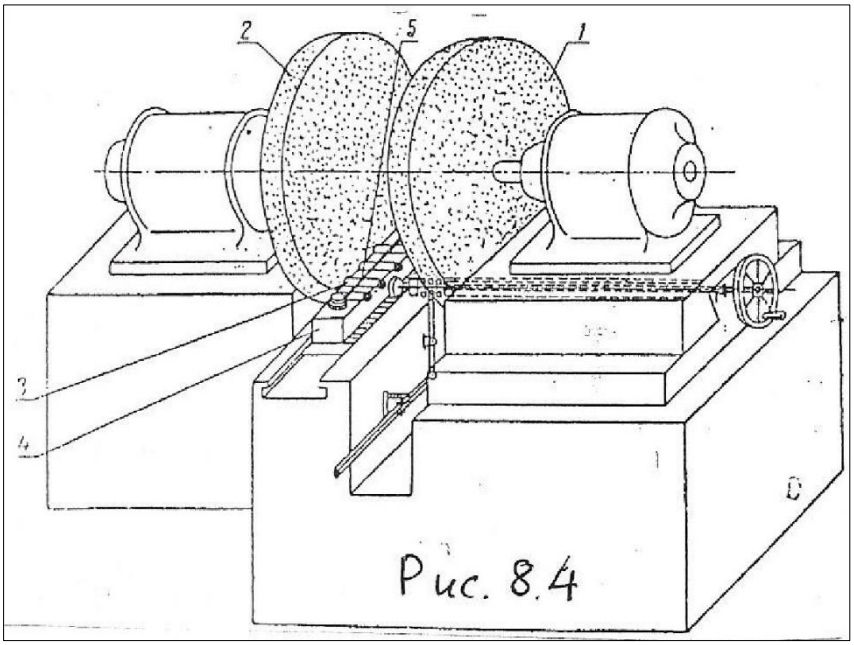


Рис.2.31.

Он состоит из двух электродвигателей, на осях которых посажены шлифовальные круги 1 и 2. Электродвигатель с кругом 2 монтируется на основании неподвижно, а электродвигатель с кругом 1 установлен на подвижных салазках, что позволяет устанавливать необходимое расстояние между шлифовальными кругами. Пружины, подлежащие обработке, вставляются в сменные втулки 3, которые устанавливаются в призмах каретки 4 и крепятся планкой 5. Каретка 4, прикрепленная к рейке, получает движение относительно шлифовальных кругов от зубчатого колеса. Таким образом шлифуются торцы пружин и одновременно выдерживается свободная длина пружины, установленная чертежом.

Пружины малой жесткости (менее 0,08 Н/мм) шлифуются в специальной цанге (рис. 2.32.).

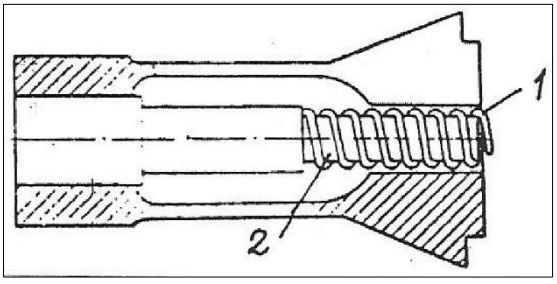


Рис.2.32.

В этом случае пружина 1 надевается на стержень 2 и по наружному диаметру прижимается цангой. При этом зажимаются крайние витки, чем повышается их жесткость при шлифовании.

Для пружин очень малой жесткости применяется электрохимическое шлифование, при котором процесс снятия металла производится при нулевом усилии. Схема такой обработки показана на (рис. 2.33).

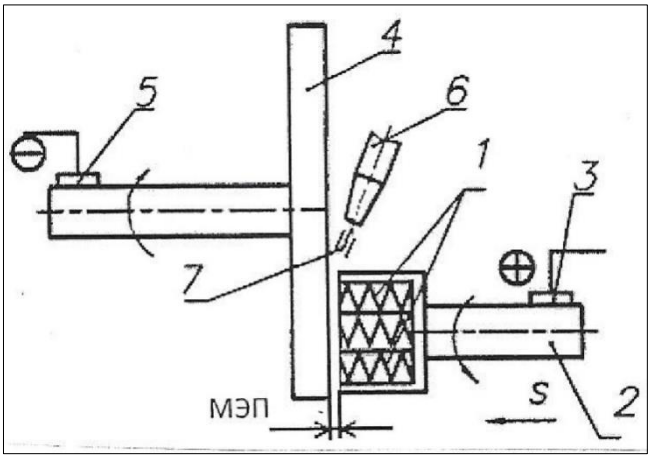


Рис.2.33.

Обрабатываемые пружины устанавливаются во вращающемся приспособлении 2, которое через щетку 3 подключено к положительному полюсу источника питания, т.е. является анодом. Вращающийся металлический диск 4 является электродом – инструментом, который через щетку 5 подключен к отрицательному полюсу источника постоянного тока, является катодом. Через насадку 6 в зону обработки подается электролит 7. За счет анодного растворения происходит обработка опорных витков пружин.

Термообработка пружин и стабилизация их свойств

Её осуществляют после всех операций механической обработки. Пружины из стальной термически обработанной проволоки подвергают только отпуску для снятия внутренних напряжений.

Пружины из стальной термически необработанной проволоки подвергают закалке и отпуску.

Стабильные свойства пружин обеспечиваются их механической тренировкой или «заневоливанием». При механической тренировке производят периодическое растяжение (для пружин, работающих на растяжение) или сжатие (для пружин, работающих на сжатие) в течение 1-2 часов с числом циклов 30-40 в минуту.

«Заневоливание» заключается в сжатии пружин до соприкосновения витков или растяжении усилием, превышающим рабочее, и выдерживании в указанном состоянии от 6 до 48 часов.

Для прецизионных пружин ещё выполняется так называемая доводка по осевому усилию, которая выполняется с применением приборов, измеряющих усилие и деформацию.

Покрытие и контроль пружин

В качестве антикоррозионного покрытия применяют оксидирование, цинкование, кадмирование, фосфатирование. Контроль пружин включает внешний осмотр (наличие дефектов на поверхности). Измеряются свободная длина пружины, наружный диаметр, равномерность шага навивки, перпендикулярность опорной плоскости. Проводятся испытания под нагрузкой.

Изготовление спиральных пружин и волосков

Спиральные ленточные пружины применяют в конструкциях приборов главным образом как аккумуляторы энергии (как двигатели). В соответствии с этим назначением пружины обладают небольшой жесткостью и работают при статической нагрузке в условиях длительного нагружения.

Спиральные пружины такого назначения изготавливают из высококачественной углеродистой стали, обладающей большой прочностью и стабильностью.

Техпроцесс их изготовления включает следующие основные операции:
одготовка материала, получение заготовок;
авивка;
трезка и загибка конца;
ермообработка;
окрытие;
аневоливание;
онтроль.

Исходным материалом является лента, поступающая в нагартованном или термически обработанном виде. Заготовительные операции заключаются в разрезке материала на полосы требуемой ширины, правке полос и снятии заусенцев на их ребрах. Перед навивкой концы заготовок для обеспечения возможности крепления отжигают на небольшом участке и загибают.

Навивку проводят на специальном приспособлении, работа которого поясняется схемой, приведенной на (рис. 2.34).

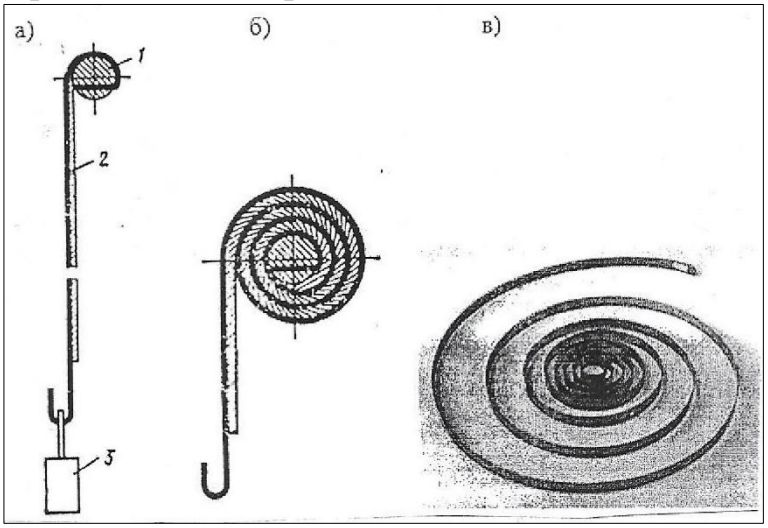


Рис.2.34.

В оправке 1 приспособления, диаметр которой соответствует внутреннему диаметру пружины, предусмотрен паз, для заправки конца заготовки. На другой конец подвешивают груз 3. После поворота оправки на пол оборота под заготовку вставляют мягкую прокладку 2 (стальную или латунную) для обеспечения требуемого зазора между витками пружины. После навивки пружину снимают с оправки, удаляют прокладку и отрезают ее по размеру с удалением вспомогательного крючка.

С целью стабилизации формы спирали и напряжений в ее материале пружину «заневоливают». Для этого ее закручивают до соприкосновения вишков, помещают в обойму и выдерживают в течение суток. Если после этого она имеет форму, близкую к архимедовой спирали, то она считается годной и контролируется по моменту.

Разновидностью спиральных пружин являются волоски, которые широко применяются в приборах (выборка зазора в зубчатых передачах, волосок в балансовых часах).

Техпроцесс изготовления волосков включает:
олочение проволоки;
рокатка проволоки (плющение);
авивка;
ермообработка;
азрезка на отдельные пружины;
табилизация;
онтроль.

Исходным материалом служит проволока из бериллиевой бронзы, нержавеющей стали, инвара (сплав Fe – 65% и Ni – 35%).

Волочение применяется для получения точного диаметра проволоки. Используются алмазные волоки.

Плющение проволоки 1 в ленту 3 производят на двухвалковом прокатном стане между валками 2 (рис. 2.35а). При этом получают ленту с поперечным сечением, приведенным на (рис. 2.35б) (b/h <10). После этого полученную ленту разрезают на заготовки требуемой для навивки длины.

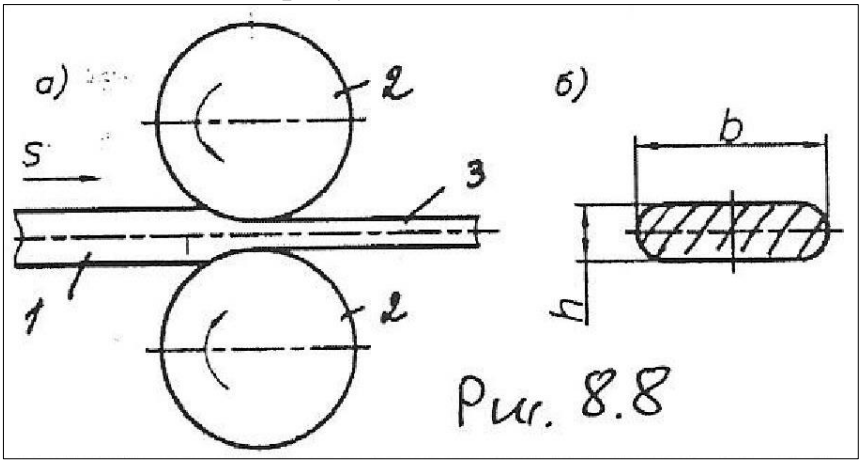


Рис.2.35.

Навивка волосков осуществляется двумя способами: лучеобразная навивка (рис. 8.9а) и пучкообразная (рис2.35 б).

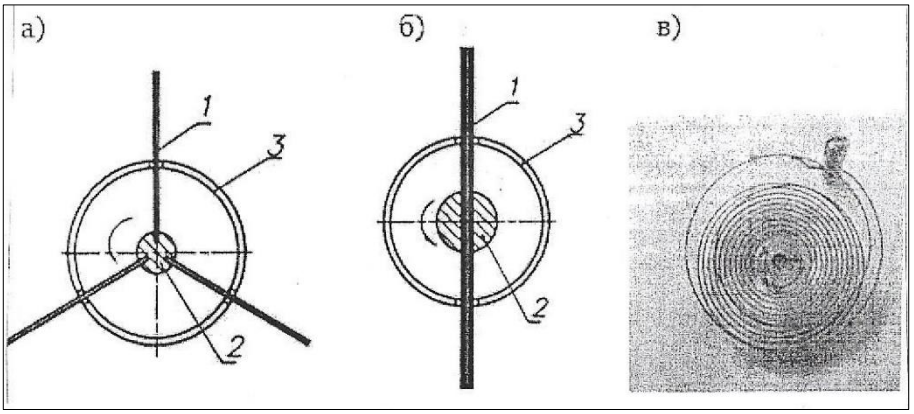


Рис.2.36.

В обоих случаях приспособление для навивки состоит из неподвижной кассеты 3 и вращающегося шпинделя 2. Отличие состоит в заправке (установке) заготовок волосков. Так при лучеобразных концах заготовок вставляются поштучно в пазы на шпинделе, а при пучкообразной они в виде пучка устанавливаются в симметричном пазу шпинделя. В неподвижной кассете 3 так же предусмотрены соответствующие пазы для установки заготовок волосков. При вращении шпинделей происходит навивка волосков, при этом шаг получаемой спиральной пружины определяется количеством одновременно навиваемых заготовок.

Термическая обработка волосков проводится в вакуумных печах (Т=300°С, время 1 час).

После этого происходит разделение пакета на отдельные пружины и осуществляется их контроль.

Изготовление плоских пружин

Плоские листовые пружины (рис. 2.37) в приборостроении применяются для различных подвесов, а также в качестве контактов или контактных деталей.

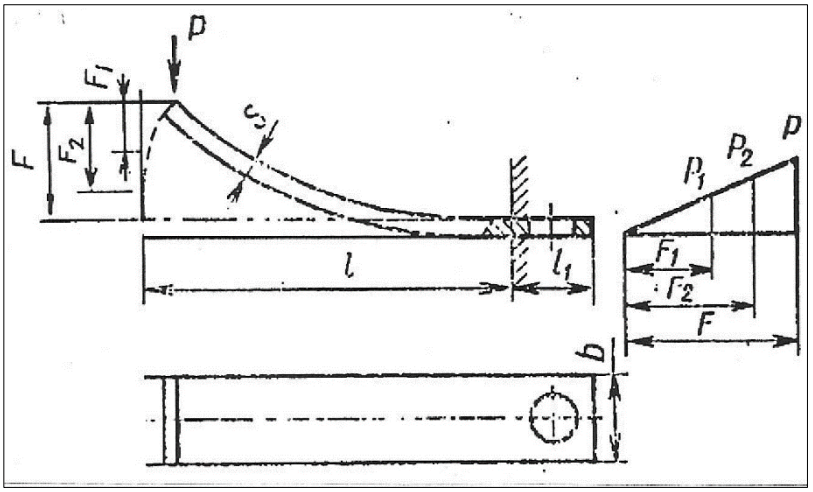


Рис.2.37.

Технологический процесс изготовления плоских пружин включает следующие операции: заготовительные, штамповочные, термической обработки и покрытия.

Для получения необходимой упругости плоских пружин, штампуемых из ленты или листа, пружины длинной стороной в заготовке располагаются вдоль проката.

Изготовление мембран

Мембраной называется тонкая круглая пластина с концентрически нанесенными складками (гофрами), которая показана на (рис. 2.38).

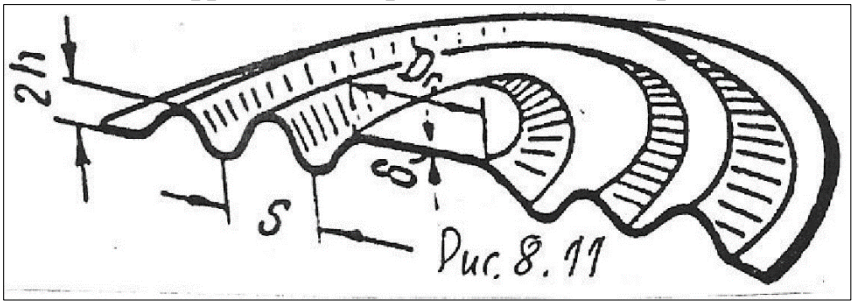


Рис.2.38.

Ее основными параметрами являются: $D_п$ – диаметр плоского центра; S – шаг гофра; 2h – высота гофра; δ - толщина мембраны.

Мембрана является основным чувствительным элементом большого числа приборов, благодаря простоте конструкции, компактности и невысокой стоимости. Для увеличения перемещения подвижного центра мембраны применяются мембранные коробки (рис. 2.39).

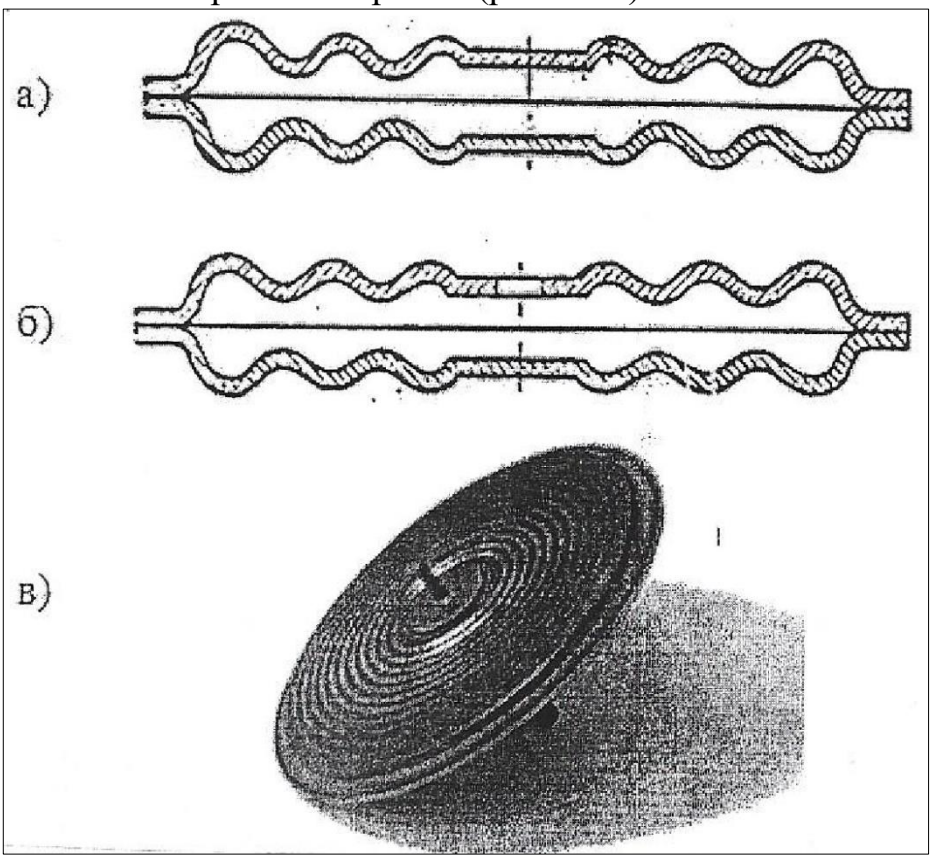


Рис.2.39.

На (рис. 2.39 а) показана герметически изготовленная коробка, которая называется анероидной и применяется в барометрах для измерения

абсолютного давления. На (рис. 2.39 б) показана мембранная коробка для измерения давлений, действующих на нее изнутри и снаружи.

В качестве материалов для изготовления мембран служат фосфористая бронза, оловянистая бронза, латунь, нержавеющая сталь, стали марок У8А, У10А, 65Г.

Рассмотрим типовой процесс изготовления мембран.

аготовительные операции. Материал для изготовления мембран поступает в виде ленты толщиной от 0.3 до 1.5 мм и шириной 1200мм. Каждая партия подвергается контролю по химсоставу и механическим свойствам. Ленты, прошедшие испытания, разрезаются на гильотинных или роликовых ножницах на отдельные полосы, ширина которых определяется диаметром заготовки.

рокатка. Она преследует две цели – получение необходимой толщины материала и нагартовка материала для получения необходимых механических свойств и структуры металла.

ермическая обработка. Она предназначена для снятия внутренних напряжений и получения равновесной структуры.

ырубание кружков – заготовок мембран. Осуществляется на эксцентриковых прессах.

офрирование, т.е. формирование на заготовке заданного количества гофров с заданными параметрами. Наиболее рациональным способом является гофрирование мембран на резине, что поясняется схемой, приведенной на (рис.

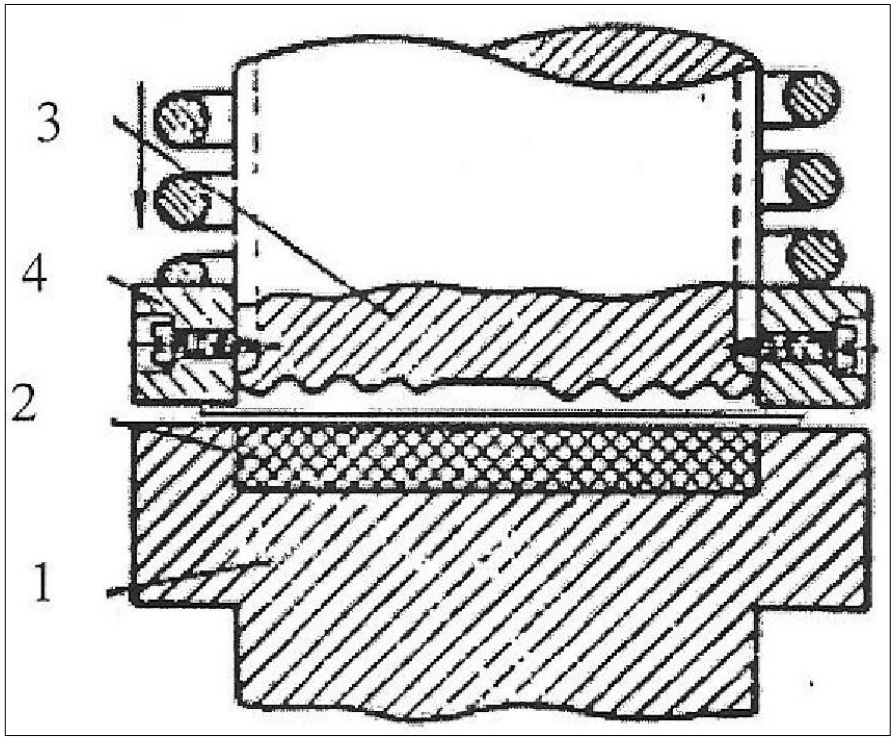


Рис.2.40.

Для этого применяется специальный штамп. Он состоит из основания 1, в которое вставлен резиновый круг 2 толщиной 10мм. Заготовка укладывается на основание 1 и прижимается к нему по периметру кольцом 4. Затем опускается

пуансон 3, на рабочей поверхности которого выполнены соответствующие гофры, который придает мембране необходимую форму.

Весьма эффективно использовать для гофрирования мембран гидравлический способ. Он отличается высокой производительностью и качеством. Высокое качество мембран обеспечивается благодаря равномерному распределению давления по всей поверхности заготовки, что нельзя осуществить при других способах гофрирования.

Изготовление сильфонов

Сильфон представляет собой гофрированную тонкостенную трубку (рис.

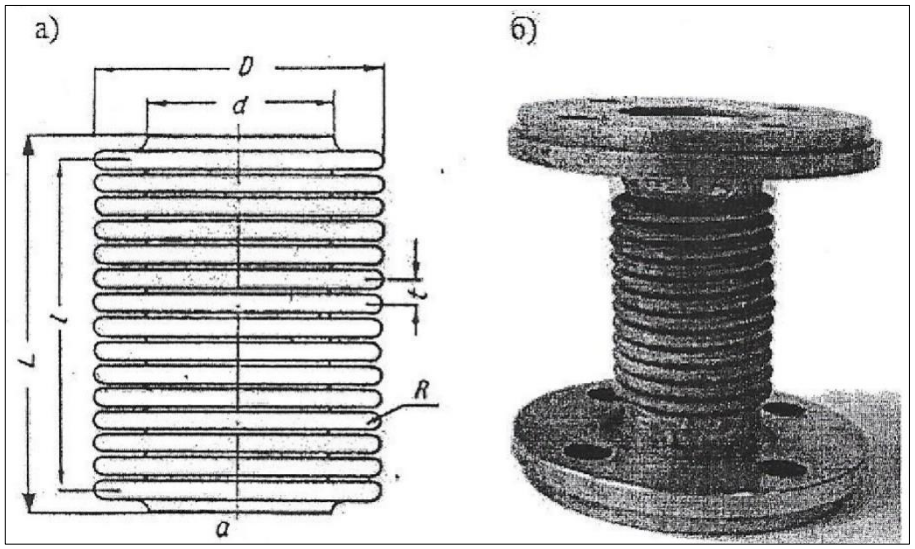


Рис.2.41.

Его основными параметрами являются: D – наружный диаметр; d – внутренний диаметр; L – длина в свободном состоянии; l – длина рабочей части; R – радиус гофров; t – шаг гофров; α - толщина стенки.

Сильфоны широко используются в различных приборах в качестве чувствительных элементов. Сильфоны изготавливают из фосфористой и бериллиевой бронзы, а также нержавеющей стали. Заготовками служат тонкостенные цельнотянутые трубки.

Технологический процесс изготовления сильфонов выглядит следующим образом. Из тонкостенной трубы нарезают штучные заготовки требуемой длины. Для снятия остаточных напряжений заготовки отжигаются в вакуумных печах. После отжига производят операцию гофрирования. В настоящее время наиболее производительным способом, обеспечивающим высокое качество сильфонов, является гидромеханический способ, схема которого приведена на рис. 2.42).

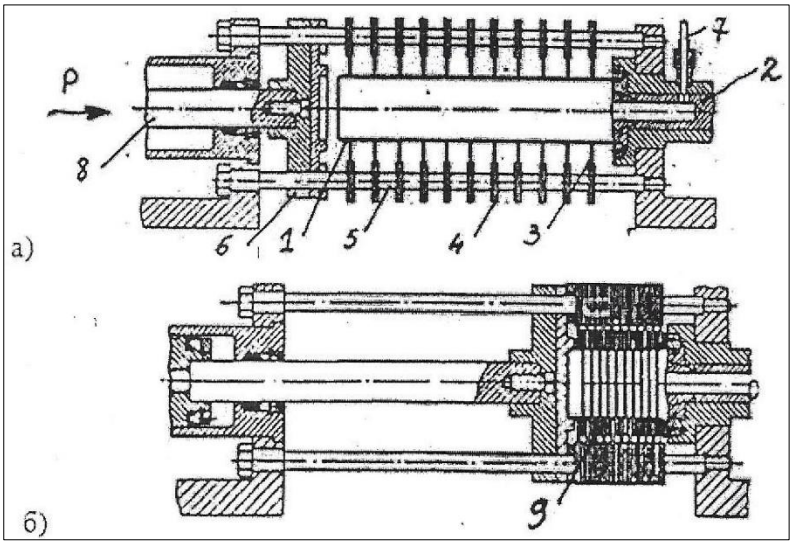


Рис.2.42.

Внутренний диаметр заготовки должен быть равен внутреннему диаметру готового сильфона. Принцип формообразования состоит в следующем. Трубка-заготовка 1 одним концом вставляется в зажим неподвижной бабки 2, а второй конец закрывается пробкой. Затем подводят пластинчатые матрицы 3, которые плотно охватывают (фиксируют) заготовку по наружному диаметру. Сами пластинчатые матрицы установлены на корпусах 4, которые имеют возможность продольного перемещения по направляющим 5. Затем внутрь трубки через штуцер 7, в котором предусмотрен перепускной клапан, подается масло под давлением. После этого шток 8 силового цилиндра под действием усилия Р перемещает подвижную плиту 6 и корпуса пластинчатых матриц.

Заготовка, испытывая созданное таким образом осевое усилие, при одновременном действии давления изнутри сокращается по длине и заполняет свободные промежутки между матрицами, которые соответствующим образом перемещаются. В результате происходит складывание трубки в гофры и формообразование сильфона 9. После этого давление внутри трубки снимается, пластинчатые матрицы выводятся, подвижная плита отводится и полученный сильфон снимается.

Для подвода пластинчатых матриц к наружной поверхности заготовки может использоваться механизм, аналогичный применяемому в ирисовых диафрагмах фотографических объективов (рис. 2.43).

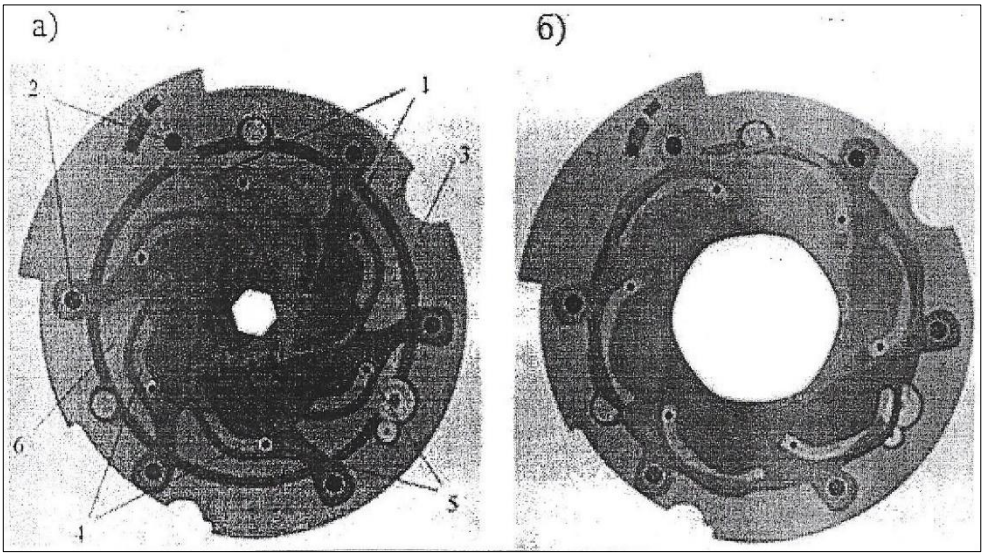


Рис.2.43.

Диафрагма состоит из множества лепестков 1, установленных с возможностью вращения на осях 2, закрепленных в неподвижной части 3 корпуса диафрагмы. В лепестках выполнены фасонные пазы 4, внутри которых находятся штифты 5, закрепленные на вращающейся части 6 корпуса диафрагмы. При вращении штифтов 5 по часовой стрелке их взаимодействие со стенками пазов 4 заставляет лепестки 1 расходиться наружу от оси корпуса диафрагмы, что сопровождается увеличением проходного отверстия.

Изготовление трубчатых манометрических пружин

Манометрическая трубчатая пружина представляет собой тонкостенную трубку 1 (рис. 2.44) вытянутого поперечного сечения, которая изогнута с определенными радиусами (внутренним r и внешним R) и углом изгиба φ = 180–300°.

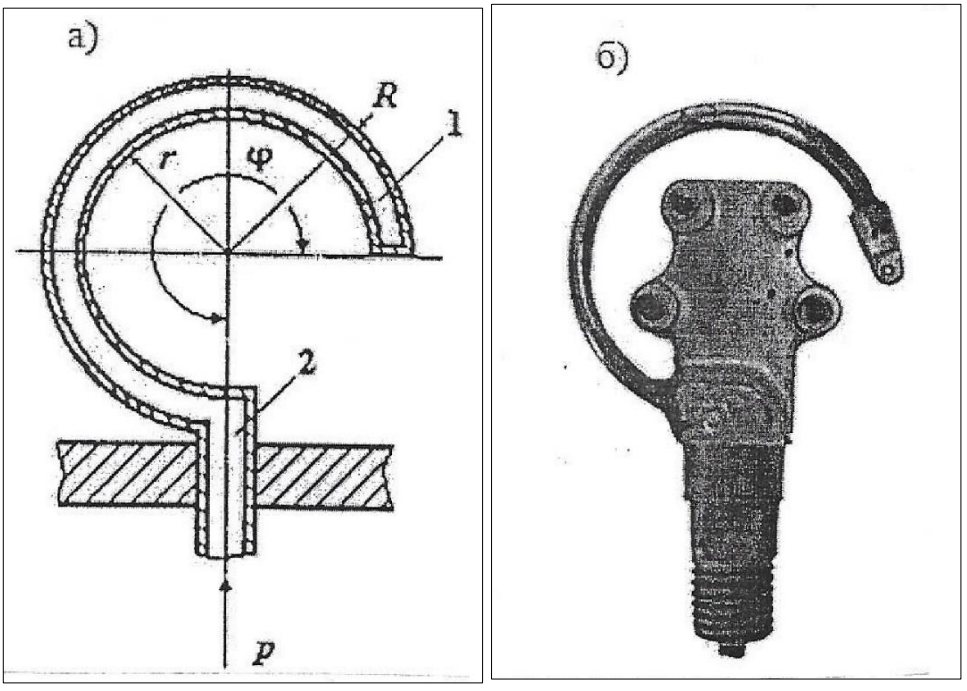


Рис.2.44.

Манометрические трубчатые пружины применяют как измерительные преобразователи давления в показывающих, регистрирующих и регулирующих манометрических приборах. В приборах, где требуются большие перемещения упругих элементов, используют многовитковые трубчатые пружины.

Для изготовления трубчатых пружин применяют латунь Л63 и Л68, бронзы Бр2,5 и БрБНТ1,9. При работе в условиях высоких температур (до 200–300°С) и в агрессивных средах применяют пружины из высококачественных сплавов 36НХТЮ, 42НХТЮ.

Технологический процесс изготовления трубчатых пружин включает следующие основные этапы: заготовительный, профилирование (навивку), термообработку и контроль.

Заготовительный этап заключается в изготовлении трубки определенной длины с профилированным сечением.

Наибольшее распространение получил способ изготовления манометрических трубчатых пружин из цельнометаллических профилированных трубок, получаемых волочением и прокаткой. Форма поперечного сечения трубчатых пружин показана на (рис. 2.45).

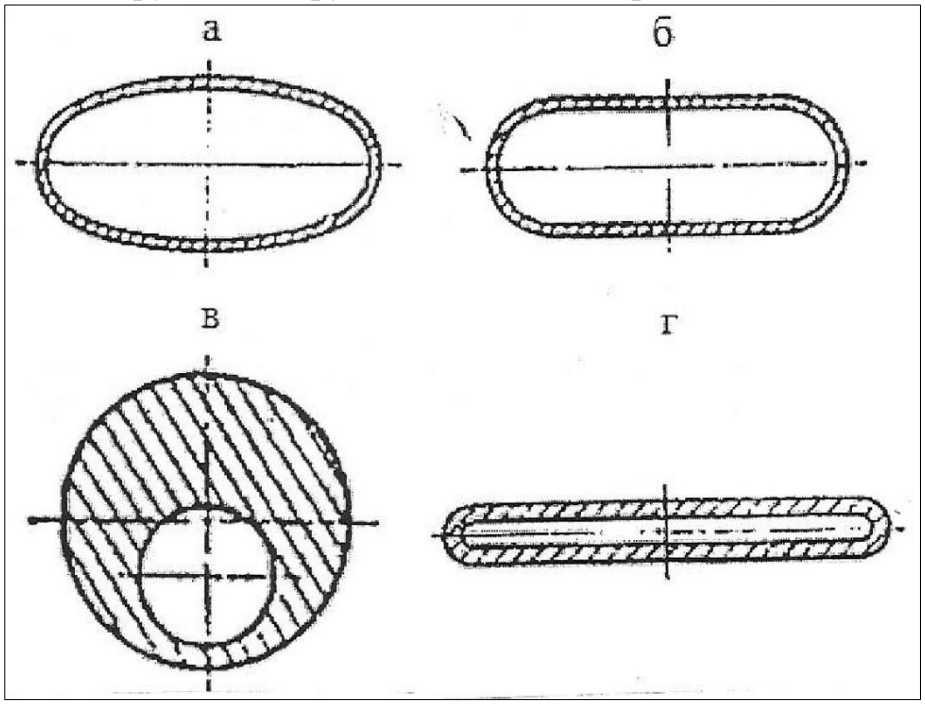


Рис.2.45.

Они бывают следующих видов: овальная (а), плоскоовальная (б), круглая с эксцентрично расположенным отверстием (в), плоскопараллельная (г).

Требуемую форму поперечного сечения получают путем сплющивания на эксцентриковых прессах, вальцах и волочильных станах. Иногда трубку получают сваркой из листового материала (рис. 2.46).

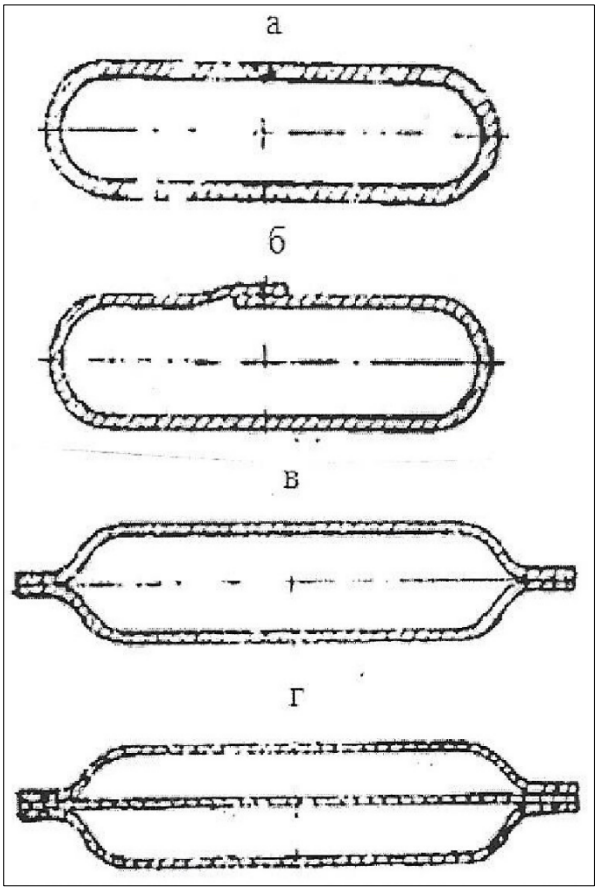


Рис.2.46.

При этом снижается разброс характеристик пружин одной партии, поскольку листовой материал имеет меньшие допуски на толщину по сравнению с допусками на цельнотянутые трубки. Применение сварки позволяет создавать сложные конструкции манометрических пружин. Так при сварке трех и более полос получают двухполостные (рисунок 8.19г) или многополостные трубчатые пружины. Перемещение конца такой пружины зависит от соотношения давлений, подаваемых в каждую полость.

Профилирование заключается в навивке пружины и получении окончательной формы ее поперечного сечения. Применяют следующие способы профилирования (рис. 2.47).

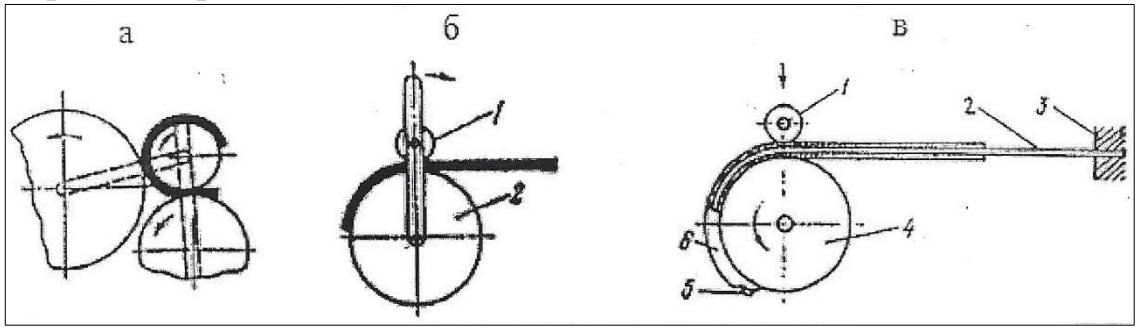


Рис.2.47.

рофилирование тремя роликами (а). В качестве наполнителя используется песок, соль или канифоль.

рофилирование двумя роликами (б). Заготовку закрепляют на неподвижном ролике 2 и сгибают вращающимся роликом 1. В качестве прокладки применяют висмутовый сплав.

рофилирование двумя роликами с применением стального сердечника (в). Трубку надевают на штифт 5 ведущего ролика 4. Сечение трубки 6 заполняют стальной гибкой лентой 2, свободный конец которой закрепляют на неподвижном зажиме 3. Нажимной ролик 1 прижимает трубку к ведущему ролику, при вращении которого трубка сходит с сердечника.

Термическая обработка после навивки предназначена для получения стабильных упругих свойств. Нагрев осуществляют в электропечах с нейтральной средой.

2.3.2. Технология изготовления стентов

Назначение стентов и требования к материалам для их изготовления

Стент – это упругая металлическая или пластмассовая конструкция в виде цилиндрического каркаса, устанавливаемая в просвете полых органов и обеспечивающая расширение участков, подвергшихся стенозу (сужению). Стент обеспечивает проходимость физиологических жидкостей, расширяя просвет полого органа (сосуда, пищевода, желчевыводящих путей или мочеточника). Стентирование – медицинское оперативное вмешательство, проводимое с целью установки стента, который помещается в просвет полых органов человека, например, коронарных сосудов сердца, и обеспечивает расширение участка, суженного патологическим процессом.

Стент является внутрисосудистым протезом, поддерживающим стенки пораженного органа и сохраняющим диаметр его просвета.

Подавляющее число применяемых на сегодня стентов изготавливаются из металлов и их сплавов. Самое широкое распространение получили медицинская нержавеющая сталь 3IGL, тантал, нитинол, сплав платины (90%) и иридия (10%), сплав кобальта.

К материалу стента предъявляются следующие требования

- биосовместимость
- резистентносоть к образованию тромбов на поверхности
- рентгеноконтрастность
- возможность расширения раздутым баллоном (мягкость) в сочетании с радиальной жесткостью (упругостью).

Биосовместимость подразумевает наличие минимальной ответной реакции сосудистой стенки на внедрение инородного тела (стента), которая оценивается по толщине неоинтимального слоя, образованного на поверхности имплантированного стента.

Резистентность к тромбообразованию на поверхности стента достигаются следующими способами: обработкой поверхности металла с целью снижения еѐ шероховатости; уменьшением поверхности металла в стентируемом сегменте; покрытием металлической поверхности стента веществами, препятствующим тромообразованию (например, покрытие гепарином). Последними исследованиями было доказано, что конструкция сегмента также играет

определенную роль в предотвращении образования пристенных тромбов. В частности, структура и рисунок стента должны способствовать ламинарному кровотоку через стентированный сегмент. Отсутствие пристеночного турбулетного потока создает условия для предотвращения тромбообразования. На (рис. 2.49) представлено схематическое изображение коронарного кровотока через стентированный элемент.

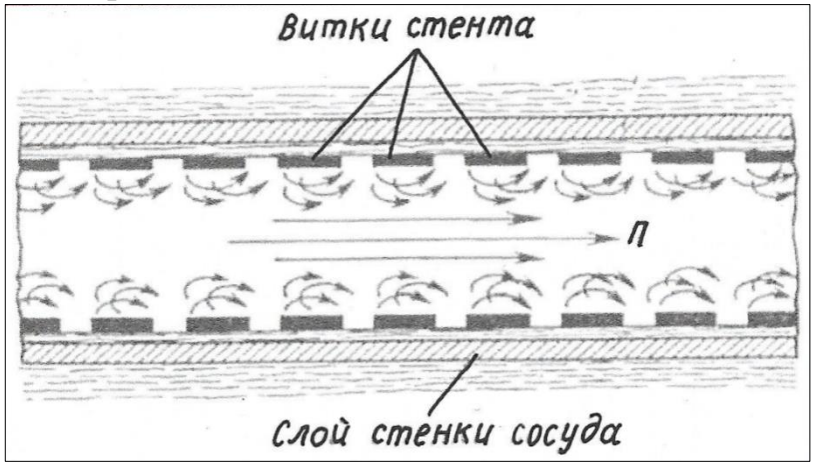


Рис.2.49.

Как видно, ближе к оси сосуда характер кровотока более ламинарный и, наоборот, пристеночный кровоток имеет турбулентный характер, основной причиной которого является имплантированный стент. Стрелками указано направление кровотока через просвет сосуда. Как установлено, более биосовместимый материал является и менее тромбогенным. С этой точки зрения наиболее приемлемыми материалами являются металлы – тантал и сплав никеля и титана – нитинол.

Рентгеноконтрастность (видимость на флюороскопическом экране) является важной характеристикой стента и зависит в первую очередь, от материала стента. Рентгеноконтрастностьстента характеризуется тремя степенями: невидимой, средней и высокой контрастностью. Самый меньшей видимостью обладают стенты из стали, самой высокой из тантала и платины. Покрытие обычных стальных стентов тончайшим слоем (до 80 мкм) золота или платины также приводит к резкому увеличению их рентгеноконтрастности.

Возможность расширениястента под невысоким давлением в баллоне (5-6 атм.) свидетельствует о хорошей податливости (пластичности) материала стента – чем меньше давление для расширения сжатого стента, тем пластичнее его материал. С другой стороны, основная задача стентирования – хорошее армирование стентированного сегмента артерии. Поэтому пластичность материала стента должна сочетаться с упругостью (сопротивляеомсть к внешнему воздействию) структуры стента. Упругость стента зависит не только от материала, но и от конструкции (дизайна) стента.

Конструкции стентов

Несмотря на значительное разнообразие форм и конструкции стентов их можно объеденить в 5 групп по типу конструкции и способу изготовления.

1. Трубчатые (или матричные) стенты;

2. Проволочные стенты;
3. Синусоидальные стенты;
4. Кольцевые стенты;
5. Стенты смешанной конструкции.

Подавляющее число стентов, применяющихся на сегодня в клинической практике имеют матричную конструкцию.

Матричные или трубчатые стенты изготавливают из цельных металлических трубок различной длины и диаметра. На (рис. 2.50) представлены основные стадии изготовления такого стента.

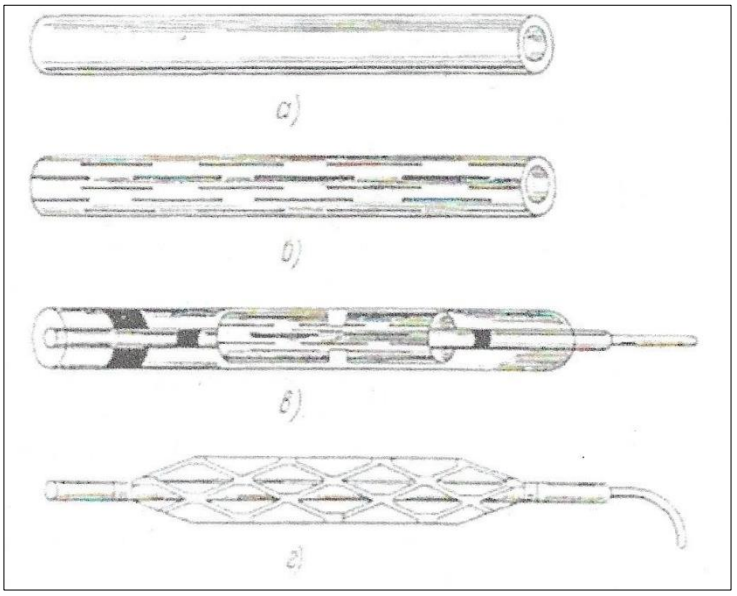


Рис.2.50.

а – заготовка в виде полой металлической трубки;

б – нанесение надрезов или других фигур с помощью лазерного луча или прецизионной коррозионной химической обработки;

в – закрепление на баллоне;

г – стент в раскрытом состоянии.

На месте продольных разрезов после раздувания баллона образуются ромбовидные структуры.

На (рис. 2.51) представлена фотография общего вида проволочного стента.

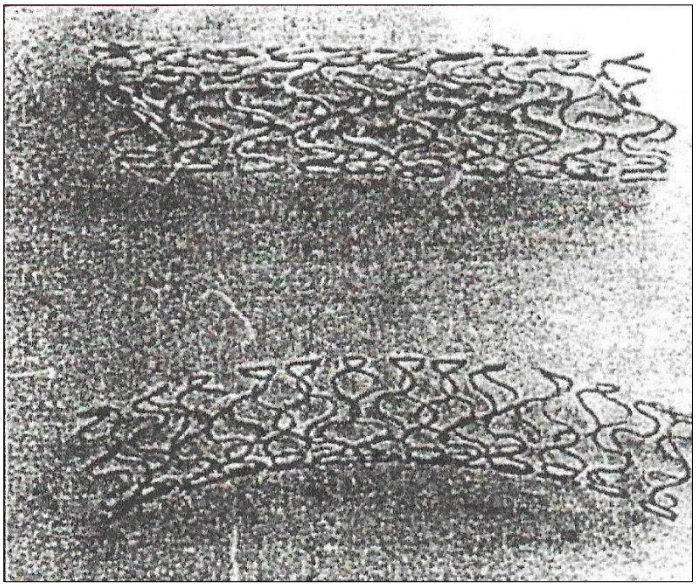


Рис.2.51.

Спиральная синусоидальная структура стента создана из одной проволоки без сварок и соединений его отдельных элементов.

Кольцевые стенты являются разновидностью проволочных, но в отличие от них, в кольцевых стентах отдельные элементы (фигуры), изготовленные из проволоки, соединяются между собой с помощью сварки (химической или горячей). На (рис. 2.52) показан общий вид кольцевого стента, а стрелками показаны места соединения между собой отдельных ромбовидных элементов.

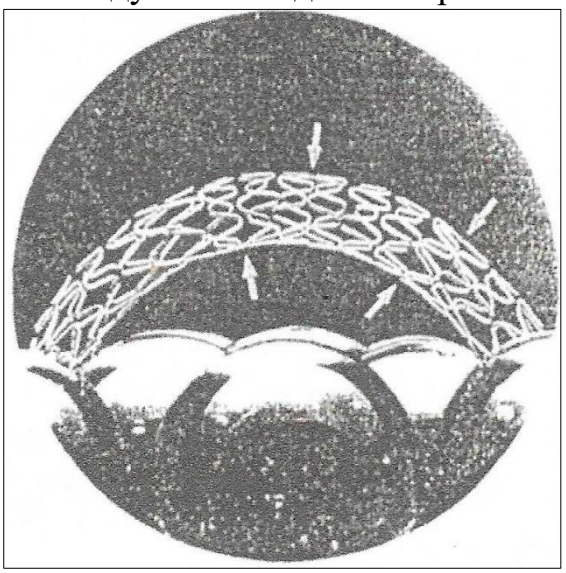


Рис.2.52.

На (рис. 2.53) показан общий вид синусоидального стента, который представляет собой композицию из отдельных проволок (от 10 до 20), каждая из которых имеет синусоидальную форму.

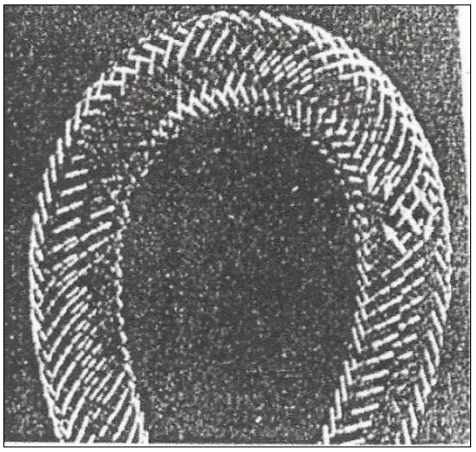


Рис.2.53.

Изготавливаются проволочные стенты плетением или вязанием проволок.

Стадии установки баллоно-расширяемого стента(БРС)

На (рис. 2.54) показаны основные стадии установки баллонорасширяемого стена.

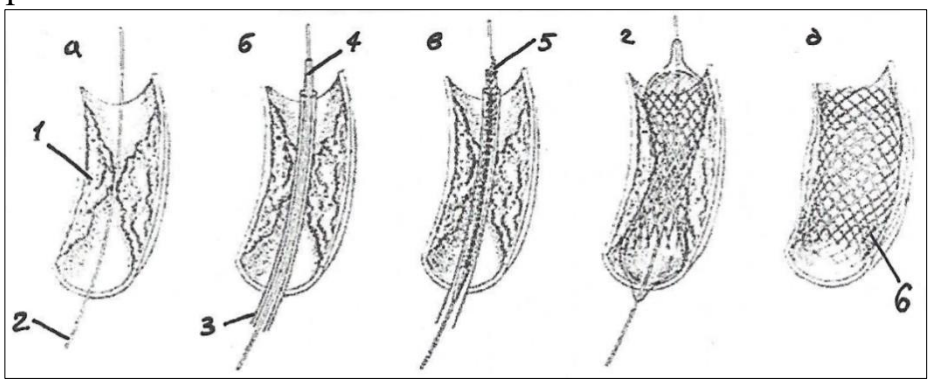


Рис.2.54.

Бляшка 1 пересекается проводником 2 (а), затем по проводнику вводится катетер 3 с дилататором 4 (б). После этого дилататор удаляется из катетера и заменяется баллоном со стентом 5 (в). Затем катетер отводится назад, а баллон раздувается (г). После этого баллон сдувается и отводится назад, оставляя стент 6 в полностью раскрытом состоянии (д).

На (рис. 2.55) представлена фотография матричного стента в исходном состоянии и после его расширения.

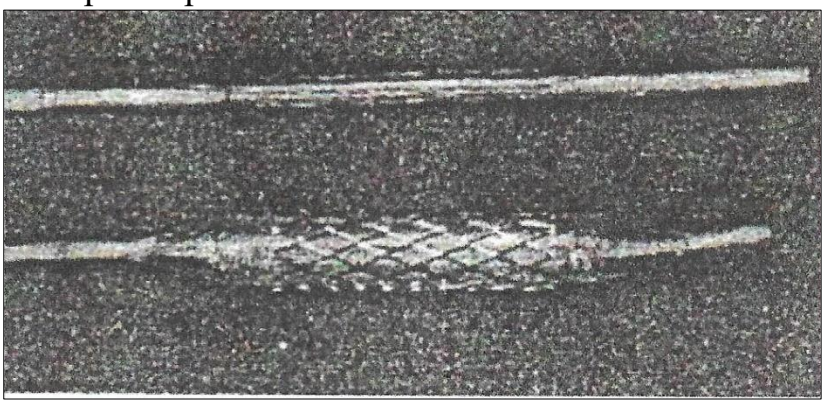


Рис.2.55.

Помимо баллоно-расширяемых стентов используются саморасширяющиеся, основанные на эффекте памяти формы (ЭПФ). В качестве материалов для изготовления саморасширяющихсястентов применяют нитинол, сплав, содержащий 50% никеля и 50% титана. Он обладает двумя важными для изготовления стентов свойствами: эффектом памяти формы (ЭПФ) и эффектом сверхупругости. Оба эти эффекта связаны с так называемыми бездиффузионными фазовыми превращениями, возникающими под действием температуры или механической деформации.

Механизмы эффектов памяти формы и сверхупругости

На (рис. 2.56) показана высокотемпературная фаза нитинола (после отжига при температуре 500°С) представляет собой аустенит с объемно-центрированной кубической решеткой (а) При понижении температуры нитинол переходит в фазу мартенсита с моноклинной решеткой, подвергнутой двойникованию (б).

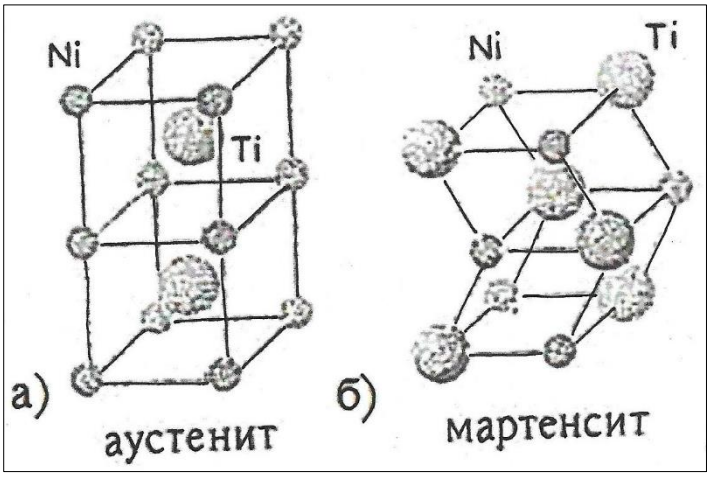


Рис.2.56.

При этом переходы аустенит – мартенсит и мартенсит – аустенит происходят при различных температурах, что иллюстрируется на (рис. 2.57).

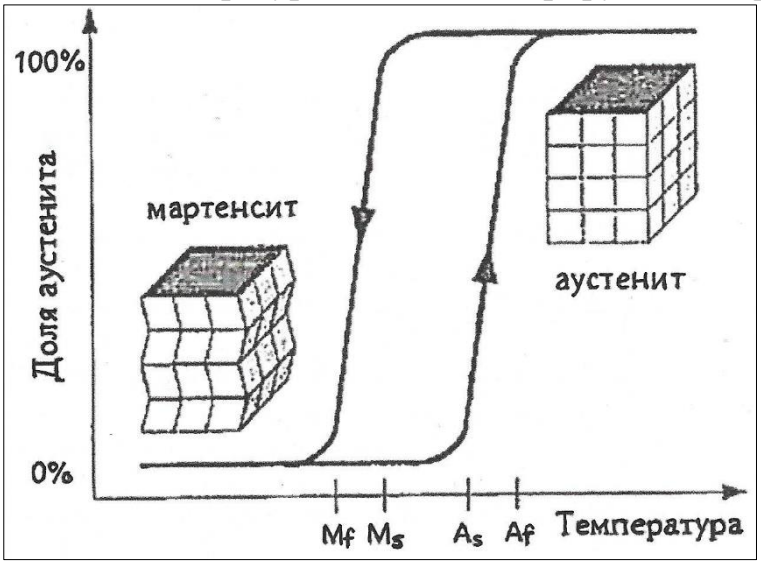


Рис.2.57.

При фазовом переходе аустенит -> мартенсит формирование мартенсита начинается при температуре Ms, а заканчивается при температуре Mf, меньшей, чем Ms. При обратном фазовом переходе мартенсит -> аустенит формирование аустенита начинается при температуре As и заканчивается при температуре фазовых превращений может существенно изменяться (в диапазоне – 100 до + °C) при незначительном изменении состава сплава.

В мартенситном состоянии (при температуре ниже Mf) нитинол может быть легко деформирован за счет раздвойникования – деформации при кристаллической решетке, при которой исчезают двойники. При этом может быть достигнута максимальная деформация до 8%, а процесс деформации не сопровождается движением дислокаций, которые обычно характерно для пластической деформации. При нагреве выше температуры Af деформированное тело принимает свою исходную форму за счет превращения раздвойникованного мартенсита в аустенит. Этот эффект и называют эффектом памяти формы (ЭПФ).

При температуре выше Af при приложении внешней нагрузки возможно прямое превращение аустенита в раздвойникованный мартенсит, называемый индуцированный напряжением мартенситом. При снятии нагрузки деформированное тело изменяет свою исходную форму за счет превращения раздвойникованного мартенсита в аустенит. Этот эффект называют эффектом сверхупругости (псевдоупругости). (рис. 2.58)

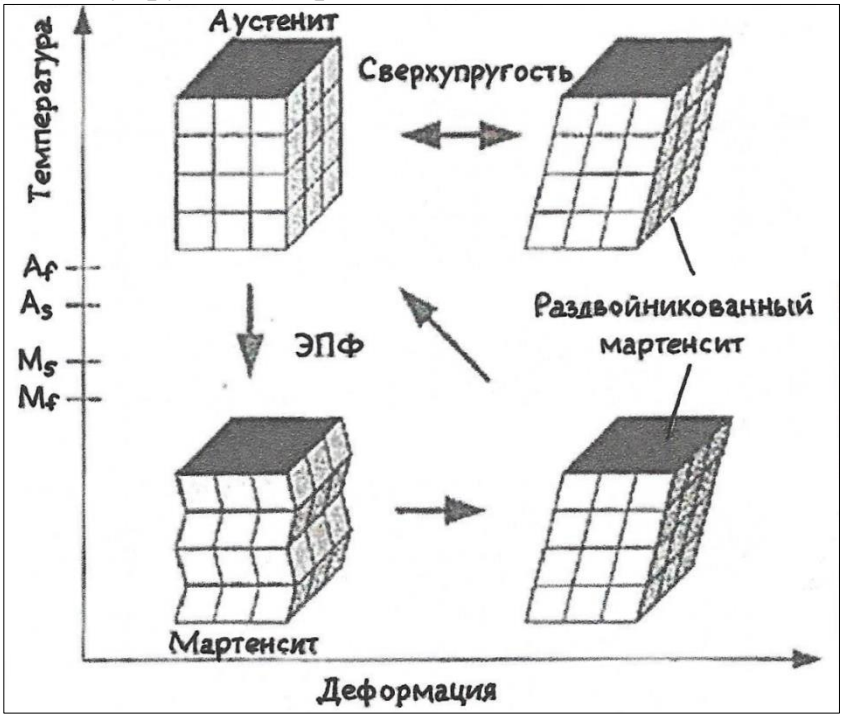


Рис.2.58.

Полностью восстанавливается деформация до 8 %, в то время как обычные материалы для изготовления упругих элементов допускают максимальную деформацию не более 0,4 %.

Это позволяет упаковать стенты большого диаметра внутри малых по диаметру катеторов. При этом после высвобождения из катетера стент

стремится принять свой исходный размер, не проявляя признаков пластической деформации. Стенты из материала с ЭПФ охлаждают и упаковывают в катетер при температуре ниже Mf. При этом при нормальной температуре материал стента должен находится в аустенитном состоянии, то есть температура Af не должна превышать нормальной температуры. При установке стента в кровеносный сосуд он нагревается до температуры выше Af и стремится принять свой исходный размер.

ЭПФ может наблюдаться не только у металлических сплавов, но и у полимерных материалов. По сравнению с металлическими полимерные стенты обладают повышенной гибкостью и податливостью, что позволяет вводить их в сильно искривленные сосуды и обеспечивает соответствие податливостей стента и сосудистой стенки. Интересным способом раскрытия полимерных стентов с ЭПФ является фототермическая активация ЭПФ. Для ее реализации стент устанавливается на светорассеивающее оптическое волокно, в которое вводится излучение диодного лазера. Излучение вызывает нагрев стента и его раскрытие в результате ЭПФ.

Биодеградируемые металлические стенты

Постоянные стенты имеют ряд недостатков, например, тромбогенность и невозможность адаптации к росту молодых пациентов. В связи с этим помимо постоянных стентов разрабатываются стенты из биологически рассасываемых материалов. Сплавы для биодеградируемыхстентов должны не уступать по прочности нержавеющей стали, при этом сами сплавы и продукты их коррозии не должны обладать токсичностью. В настоящее время разработаны биодергадируемые сплавы на основе железа и магния.

Методы изготовления стентов

На сегодня методы изготовления стентов включают лазерную резку, фотохимическое травление, водоструйную резку, электроэрозионную обработку, плетение и вязание.

Лазерная резка применяется для изготовления матричных стентов из трубчатых заготовок. При этом к размерам заготовок предъявляются жесткие требования: допуск на наружный диаметр от 15 до 20 мкм, допуск на толщину стенки от 20 до 50 мкм.

В качестве лазера может применятся лазер на кристалле иттрийалюминиевого граната легированного ионами неодила, работающий в режиме модуляции добротности. Это позволяет получать короткие импульсы (длительностью менее 100 нс) с высокой частотой следования (до 40 кГц) при большой пиковой мощности (несколько кВт) и малой энергии импульса (менее 3 мДж). Также применяются волоконно-оптические лазеры (например, с волокном, легированным эрбием и иттербием).

На (рис. 2.59) представлена схема установки лазерной резки заготовок матричных стентов.

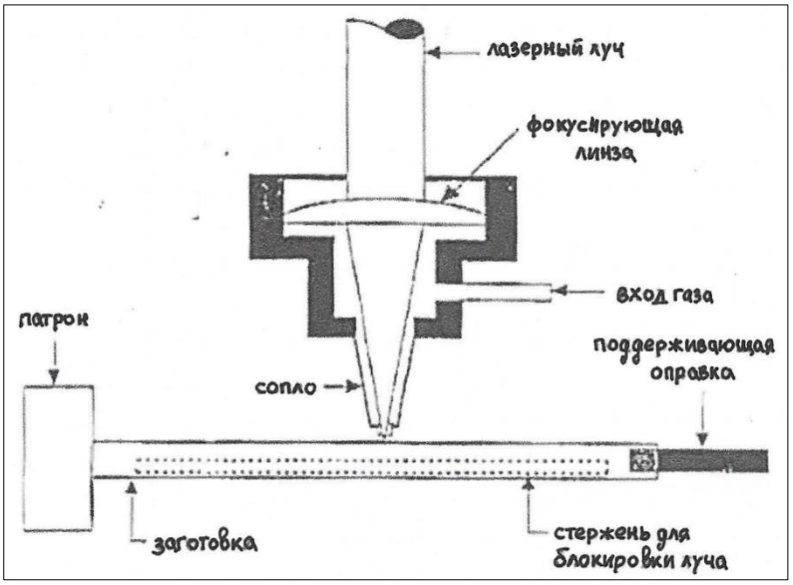


Рис.2.59.

Трубчатая заготовка одним концом зажимается в патроне, а другой ее конец установлен в поддерживающей оправке. Внутри расположен стержень для блокировки луча. Для удаления, образующегося при резке расплавленного металла коаксиально лазерному лучу через сопло подается газ. Подача кислорода под давлением позволяет повысить эффективность процесса резки.

Патрон с заготовкой с помощью системы ЧПУ перемещается вдоль координатных осей и поворачивается относительно оси заготовки. В результате воздействия на поверхность трубки лазерного луча и соответствующих движений заготовки на ней вырезаются необходимые элементы. Ширина резания составляет 15 мкм. На (рис. 2.60) представлена фотография зоны обработки при лазерной резке заготовки матричного стента.

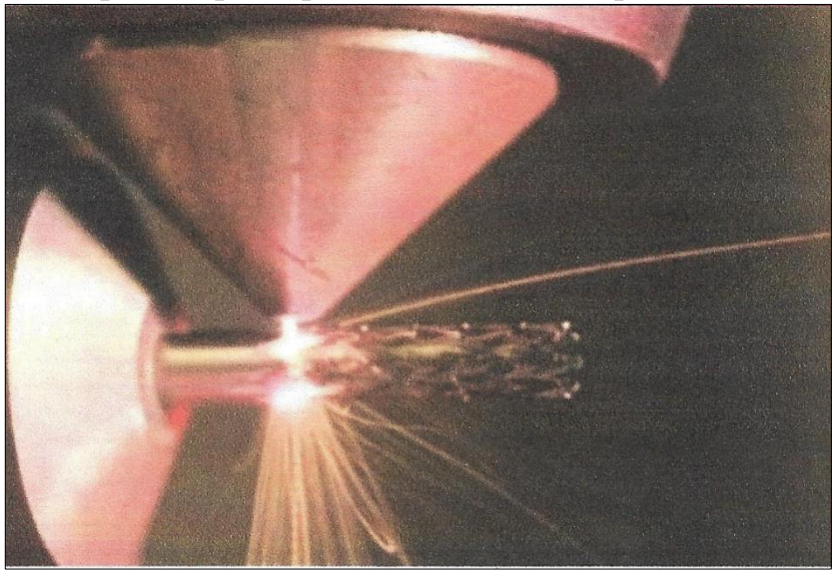


Рис.2.60.

Фотография общего вида полученных после лазерной резки матричныхстентов представлена на (рис. 2.61).

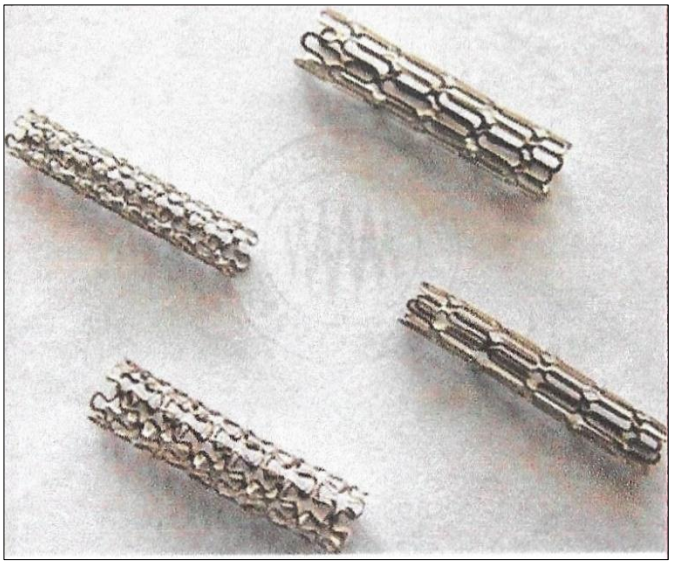


Рис.2.61.

Известна технология лазерной водоструйной резки стентов из трубчатых заготовок. Этот способ резки основан на введении сфокусированного лазерного излучения в струю жидкости высокого давления, которая служит в качестве волновода для передачи лазерного излучения. (рис. 2.62)

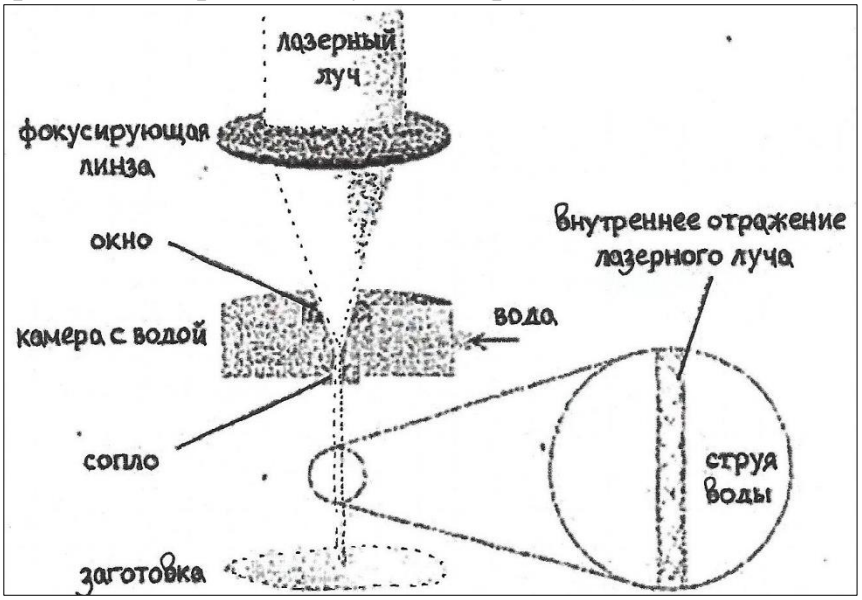


Рис.2.62.

Импульсное лазерное излучение передается к водоструйной головке через оптическое волокно, выходной торец которого проецируется с помощью оптической системы на входное сечение сопла головки. Вода подается в головку под давлением 2-50 МПа, скорость струи жидкости составляет до 300 м/с, а диаметр струи – 40-100 мкм. Сопло изготавливается из алмаза или сапфира. Длина струи жидкости по которой распространяется лазерное излучение может примерно в 100 раз превышать диаметр сопла, то есть при его диаметре 50 мкм длина струи может составлять 5 мм.

В отличие от обычной лазерной резки данная технология не требует совмещения фокуса лазерного излучения с поверхностью заготовки, так как

диаметр лазерного пятна остается постоянным на протяжении всей длины струи. Такая технология позволяет обеспечить параллельность стенок реза, а также обеспечивает чистые и ровные его края без зоны термического влияния. На (рис. 2.63) показаны электронные фотографии обратной стороны стальной фольги, поле лазерного прошивания отверстия по рассматриваемой технологии (а) и по традиционной (б).

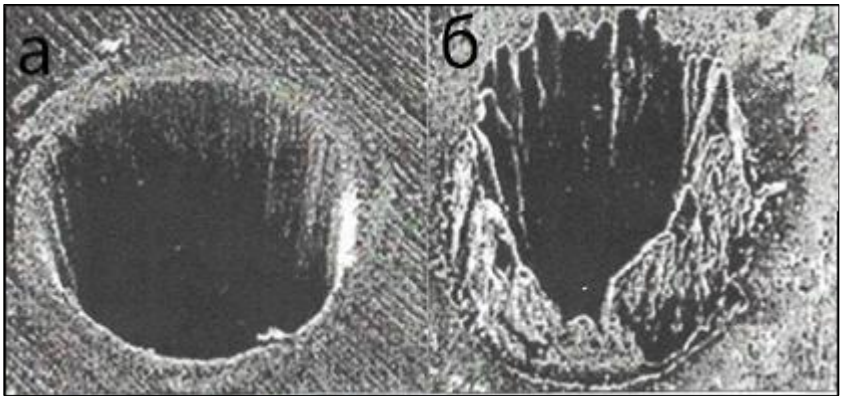


Рис.2.63.

В случае применения лазерной водоструйной резки зона оплавления на выходе отверстия значительно меньше, и оно имеет практически ровные края.

2.4. Технология изготовления зубных боров, алмазных стоматологических головок и инструментов для обработки корневого канала зуба

2.4.1. Изготовление вращательных стоматологических инструментов

К вращающимся стоматологическим инструментам относятся зубные боры, стоматологические фрезы и алмазные головки.

Зубные боры и стоматологические фрезы представляют собой вращающиеся многолезвийные инструменты. Боры предназначены для обработки (препарирования) твердых тканей зубов и челюстных костей, а стоматологические фрезы используют при протезировании для обработки и установки съемных протезов зубов и имплантатов. Стоматологические фрезы применяют для обработки гипса, пластмассы, диоксида циркония и керамики. Алмазные головки применяют для препарирования эмали зубов при их лечении и протезировании, а также в зуботехнической практике при обработке металлических зубных протезов.

Зубной бор (рис. 2.64) состоит из рабочей части (головки) 1, шейки 2 и хвостовика 3, служащего для закрепления бора в стоматологическом наконечнике.

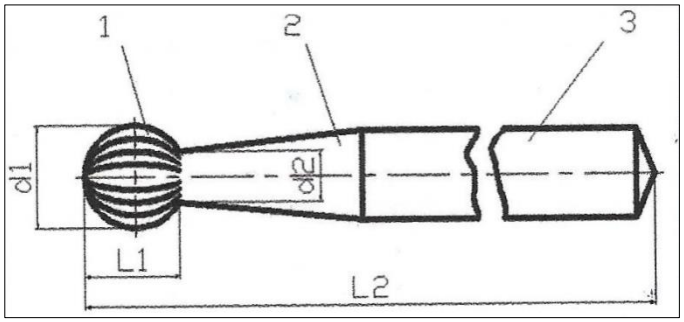


Рис.2.64.

Конструкция зубного бора: d_1 – диаметр рабочей части (головки); d_2 – диаметр шейки; L_1 – длина рабочей части; L_2 – общая длина бора.

В зависимости от применяемого стоматологического наконечника боры разделяются для работы с прямым, угловым и турбинным наконечниками. Хвостовики боров для углового наконечника имеют на свободном конце проточку и лыску для фиксации в нем(рис.2.65).

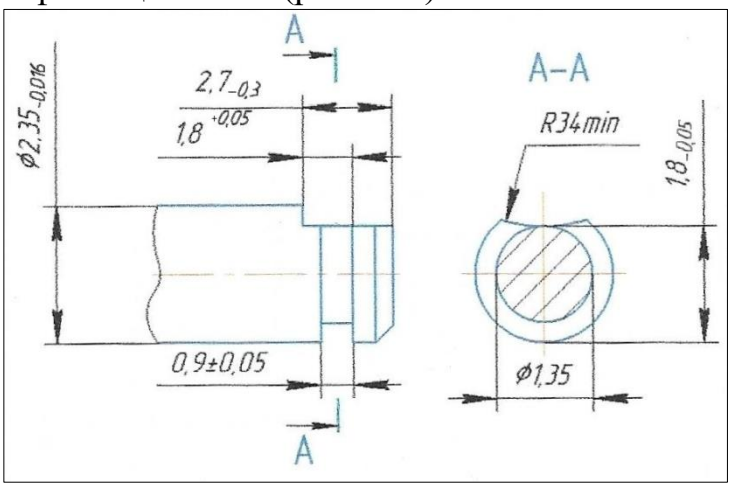


Рис.2.65.

Диаметр хвостовика бора для прямого и углового наконечников составляет 2,35 мм, а для турбинного – 1,6 мм. Боры для прямого наконечника имеют установленную длину 44 мм, для углового наконечника – 17,22 и 27 мм и для турбинного – 22 мм.

По форме рабочей части боры подразделяются на шаровидные, цилиндрические, конические, обратноконические, колесообразные с продольной, торцевой, поперечной, угловой или комбинированной насечкой, образующей режущие зубья (рис. 2.66).

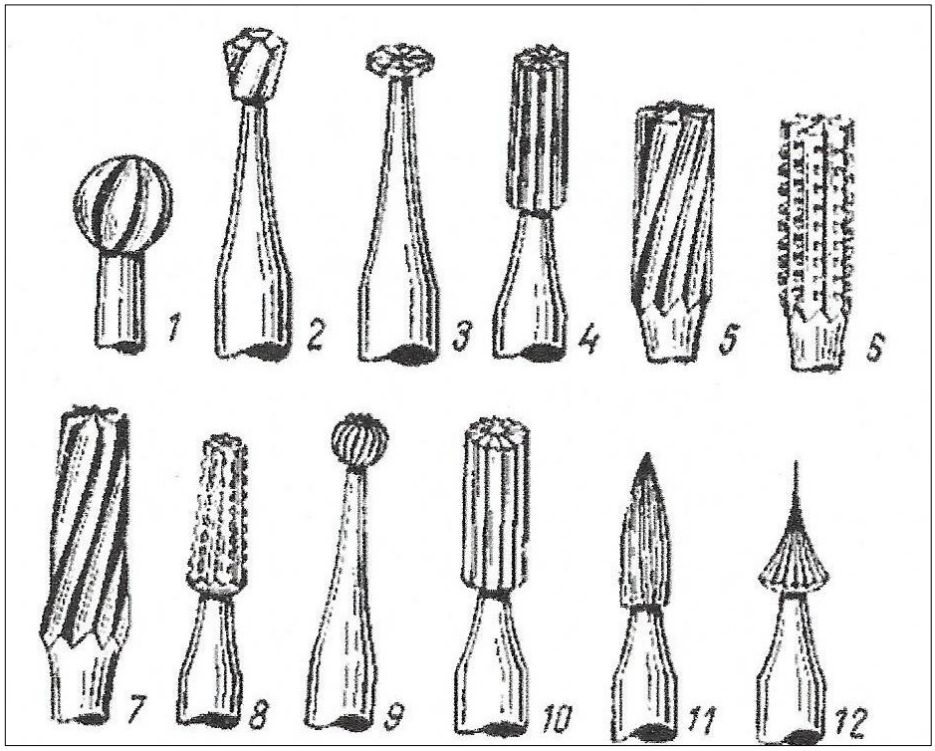


Рис.2.66.

Формы рабочей части зубных боров:
1-полостной шаровидный с косой непрерывной режущей кромкой;
2-полостной обратноконусный с косой непрерывной режущей кромкой;
3-полостной колесовидный с косой непрерывной режущей кромкой;
4-фиссурный цилиндрический с прямой непрерывной режущей кромкой;
5-фиссурный цилиндрический с косой непрерывной режущей кромкой;
6-фиссурный цилиндрический с прямой прерывистой режущей кромкой;
7-фиссурный конусный с косой непрерывной режущей кромкой;
8-фиссурный конусный с прямой прерывистой режущей кромкой;
9-финир шаровидный с косой не-прерывной режущей кромкой;
10-финир цилиндрический с прямой непрерывной режущей кромкой;
11-финир пламевидный с прямой непрерывной режущей кромкой;
12-финир конусный с прямой не-прерывной режущей кромкой.

В зависимости от материала рабочей части боры разделяются на стальные, изготавливаемые целиком из высокопрочной хромированной стали ХВ5 и твердосплавные, рабочая часть которых выполняется из цилиндров твердого сплава ВК6М или ВК60М, которые привариваются к хвостовику, изготовленному из стали ШХ15.

Стоматологическая фреза также представляет собой многолезвийный вращающийся инструмент (рис. 2.67), используемый для работы стоматологов-ортопедов и зубных техников вне ротовой полости.

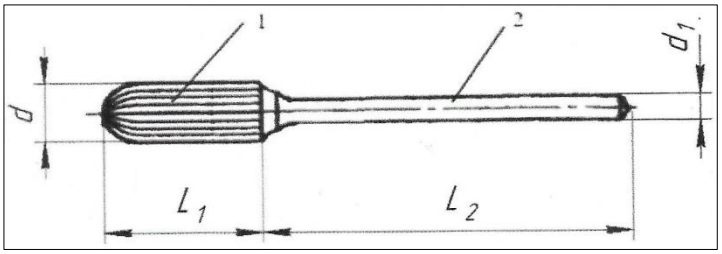


Рис.2.67.

Она состоит из рабочей части 1 и хвостовика 2, служащего для закрепления фрезы в микромоторе.

Стоматологические фрезы предназначены для работы с прямым наконечником. Хвостовики фрез имеют цилиндрическую форму установленной длины $L_2 = 38 \pm 2$ мм. Диаметр хвостовика фрезы d_1 составляет 2,05 мм.

По форме рабочей части фрезы подразделяются на цилиндрические, конические, параболоидные, почкообразные, куполообразные, с продольной, торцевой, поперечной, угловой или комбинированной насечкой, образующей режущие зубья. В зависимости от материала рабочей части фрезы разделяются на стальные, изготавливаемые целиком из быстрорежущей стали Р18КФ2, Р10К5ФЗ, Р9К5 и карбидные, рабочая часть которых выполняется из цилиндров твердого сплава ВК6М или ВК60М, которые привариваются к хвостовику, изготовленному из стали ШХ15.

Основные этапы изготовления зубных боров и стоматологических фрез

Изготовление стальных боров. При описании технологического процесса в качестве типового представителя рассмотрим изготовление бора для углового наконечника, включающего все конструктивные элементы зубных боров, в том числе и замковую часть.

В качестве исходного материала для изготовления боров применяют сталь круглую со специальной отделкой поверхности – серебрянку марки ХВ5.

На заготовительной операции распаковывают материал, снимают с прутков консистентную смазку при помощи подогрева в ванне и сортируют по диаметрам с отклонением через 0,01 мм и заправляют концы. Перед обработкой на автомате продольного точения необходимо заострить один конец прутка и сделать фаску на другом. Заостренный на конус задний конец прутка должен соответствовать конусу головки толкателя автомата, а фаска на переднем конце прутка – предотвращать возможность повреждения цанги и люнета во время установки прутка. Этот переход выполняется на обдирочно-шлифовальном станке.

Токарную операцию выполняют на одношпиндельных автоматах продольного точения. Эта операция включает в себя фасонирование рабочей части, обточку шейки, проточку канавки замковой части и отрезание в размер со снятием фаски.

Схема, поясняющая принцип работы автоматов продольного точения приведена на (рис.2.68).

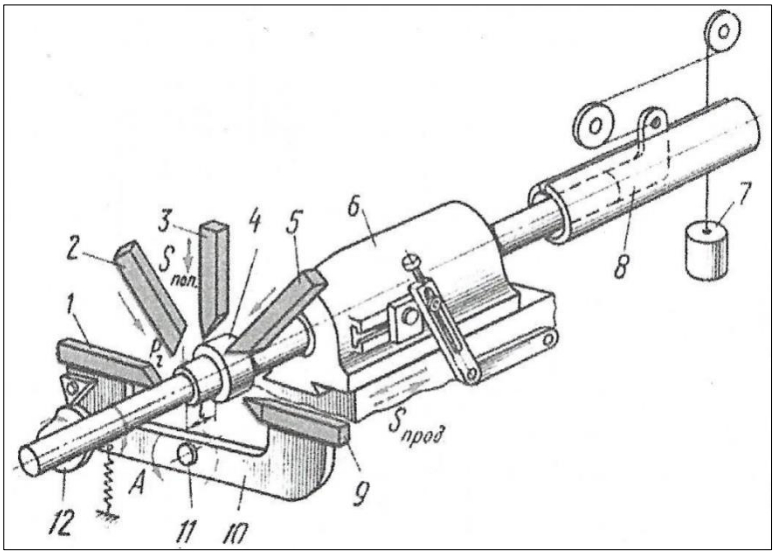


Рис.2.68.

Отличительной особенностью автоматов продольного точения является то, что пруток в них кроме вращательного движения имеет вместе со шпиндельной бабкой 6 продольное поступательное перемещение $S_{прод}$. Все суппорты автомата, которых может быть четыре или пять, расположены веерообразно вокруг обрабатываемого прутка. Они имеют только поперечное перемещение $S_{поп}$. При одновременном согласованном перемещении шпиндельной бабки с прутком и поперечных суппортов на этих автоматах можно без применения фасонных резцов обрабатывать конические и фасонные поверхности. Вертикальные суппорты 2,3,5 расположены на специальной стойке имеют прямолинейное перемещение и управляются от самостоятельных кулачков распределительного вала. Два горизонтальных суппорта 1 и 9 расположены на балансире 10 и имеют качательное движение вокруг оси 11 и управляются оба от одного кулачка 12.

В стойке, на которой расположены вертикальные суппорты, установлен неподвижный люнет 4, являющийся дополнительной передней опорой для прутка. Все суппорты с резцами располагаются в непосредственной близости от люнета, в результате чего плечо l, на котором действует сила резания Pz, получается очень маленьким. Сила резания здесь воспринимается в основном люнетом, а прогиб прутка от нее из-за малого l получается очень незначительным. Благодаря этому на автоматах продольного точения можно обрабатывать с очень высокой точностью достаточно длинные заготовь имеющие небольшой диаметр.

С правого конца пруток постоянно поджимается толкателем 8 под действием груза 7 для удержания его в среднем положении при отходе шпиндельной бабки назад.

Шпиндель в автоматах продольного точения всегда вращается в одну сторону и имеет левое вращение по стрелке А. Поэтому нарезание правой резьбы на них производится методом обгона.

При обработке боров используют призматические резцы с пластинами из твердой марки ВК6 и фасонные из стали Р18.

Цикл работы инструментов и движение шпиндельной бабки с обрабатываемым прутком задаются кулачками, рассчитанными и настроенными на данную деталь. Все кулачки установлены на едином распределительном валу.

После промывки и визуального контроля состояния обработанной поверхности заготовки боров поступают на операцию фрезерования зубьев. Её осуществляют на фрезерных автоматах различных моделей в зависимости от формы рабочей части бора. Заготовки боров, уложенные определенным образом в магазине автомата, подают поштучно в зажимную цангу. По окончанию фрезерования зубьев цанга открывается и происходит выталкивание бора. Управление автомата осуществляется 4мя кулачковыми секторами. В качестве режущего инструмента применяют специальные двухугловые дисковые фрезы. Последние используются для фрезерования лыски.

Уложенные в счетные коробки боры отправляются затем на термообработку. Перед термообработкой их двукратно промывают во фреоне -30, просушивают на воздухе и набирают специальные кассеты по 30 шт. Кассеты укладывают в специальные приспособления, с помощью которого их опускают для нагрева в соляную ванну. При этом нагреву подвергается рабочая часть и шейка бора.

В состав соляной ванны входят хлорид калия (KCl)-50% и хлорид бария (BaCl)- 50%. Такая смесь обеспечивает температур нагрева 830±10С. В зависимости от типа бора время нагрева колеблется от 30 до 50 с. После охлаждения в воде кассеты с борами сушат на воздухе и контролируют твердость рабочей части. Отпуск производят в масляной ванне с электро-подогревом при температуре 160-180С и времени выдержки 1 час. Охлаждение производят на воздухе. Затем изделие промывают во фреоне -30, просушивают на воздухе, подвергают ультразвуковой очистке и сушат в сушильном шкафу.

После этого боры, сориентированные заданным образом и уложенные в счетные коробки с помощью виброукладчика, загружают в бункер специального автомата для снятия заусенцев по наружному диаметру. Их снимают при помощи гибкого полировального круга. После этого боры подвергают электрохимическому полированию, промыванию, пассивированию и отдают на упаковку. Аналогичным образом изготавливают стальные стоматологические фрезы.

Изготовление твердосплавных боров. Рабочую часть твердосплавных боров изготавливают из твердого сплава ВК6М или ВК60М, хвостовик из нержавеющей стали 20Х13. Хвостовик с рабочей частью соединяют при помощи сварки или пайки.

Заготовки хвостовиков изготавливают из серебрянки диаметром 2,7 мм на автомате продольного точения. После термообработки зоны шейки заготовки шлифуют на бесцентрово-шлифовальном станке 3Д-180 до диаметра$2{,}5_{-0{,}02}$ мм, а затем подрезают торец со стороны отрезания заготовки.

Твердосплавные заготовки в виде цилиндра диаметром 2,4 мм и высотой 2,2 или 4,7 мм и заготовки хвостовиков перед сваркой тщательно промывают в бензине и сушат. Соединение твердосплавной заготовки и хвостовика бора

осуществляют электроконтактной сваркой на специальных автоматах. Затем производят отпуск заготовок при температуре 380 °С с выдержкой 1 час. Наплывы, возникающие при сварке, снимают путём бесцентрового шлифования заготовок на проход до диаметра$2{,}27_{-0{,}02}$ мм.

Головку бора шлифуют на специальных автоматах с помощью алмазных кругов, спрофилированных по форме головки бора. На таких же автоматах шлифуют шейку бора по заданным размерам. После промывки и контроля производят шлифование зубьев.

Эту операцию выполняют на специальных шлифовальных полуавтоматах с использованием алмазных кругов, соответствующим образом спрофилированными. Технологический припуск отрезают на токарном станке в заданный размер. Этот технологический припуск необходим для того, чтобы исключить возможность повреждения шпинделя шлифовального станка алмазным кругом. Затем производят фрезерование замковой части (лыски) и окончательно бесцентровую шлифовку хвостовика до диаметра$2{,}35_{-0{,}025}$ мм.

В настоящее время выпускаются твердосплавные боры 3х типов: шаровидные, обратноконические и цилиндрические, фиссурные для прямого, углового и турбинного наконечников. По такой же технологии изготавливаются твердосплавные стоматологические фрезы.

Технология изготовления алмазных головок.Алмазные головки применяют для препарирования эмали зубов при их лечении протезировании, а также в зуботехнической практике при обработке металлических деталей зубных протезов. Покрытие рабочей части головок содержит порошок дробленных природных алмазов с размером от 63 до 125 мкм, хвостовики этих боров изготавливают из стали 20Х13, ХВ5 и углеродистой стали У10. Алмазные головки рекомендуются эксплуатировать при оптимальной частоте вращения от 10 000 до 300 000 об/мин. Выпускаются 4 типа алмазных головок, которые показаны на (рис. 2.69).

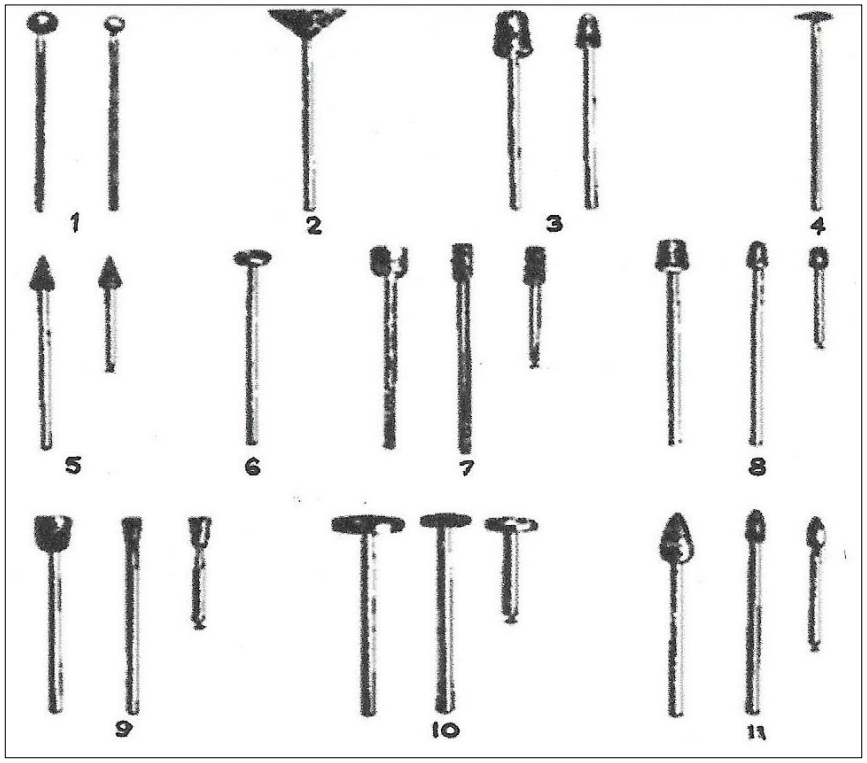


Рис.2.69.

Типы алмазных головок:
1 – шаровидные;
2 – обратноконусные с выемкой;
3 – конические с радиусом;
4 – дисковые;
5 – остроконические;
6 – колесовидные с радиусом;
7 – цилиндрические;
8 – конические усеченные;
9 – обратноконусные;
10 – колесовидные;
11 – пламевидные

Для закрепления алмазных частиц применяют способ алмазогальванических покрытий (АГП). Нанесение гальванических покрытий представляет собой электрохимический процесс, при котором происходит осаждение слоя металла на поверхности изделия. В качестве электролита используется раствор солей наносимого металла. Само изделие является катодом, а анодом – металлическая пластина.

При прохождении постоянного тока через электролит на катоде разряжается катионы металла и выделяется водород. Металл осаждается на поверхности катода (детали) и обеспечивает нанесение покрытия на молекулярном уровне. На аноде при этом происходит разряд анионов и выделяется кислород. Одновременно на аноде происходит процесс растворения металла с переходом его в раствор в виде положительных ионов. Это

обеспечивает постоянное пополнение электролита положительными ионами металла, т.е. концентрация раствора остается без изменения.

Основная идея электрохимического метода изготовления алмазного (абразивного) инструмента заключается в том, что на поверхность металлической заготовки будущего инструмента, помещенной в гальваническую ванну в качестве катода, наносят зерна алмаза. Ионы металла, например, никеля, проникая через слой алмазного порошка, кристаллизуется на катоде, прикрепляя находящиеся в соприкосновении с ним алмазные зерна и создают рабочую (режущую) поверхность.

В зависимости от конкретных требований, предъявляемых к инструменту, АГП может быть однослойным и многослойным. В однослойном АГП рис.2.70) зерна алмазного микропорошка располагаются в один ряд и на корпусе инструмента удерживаются двумя слоями никеля: первый наносится во время прикрепления алмазного порошка, второй во время его закрепления.

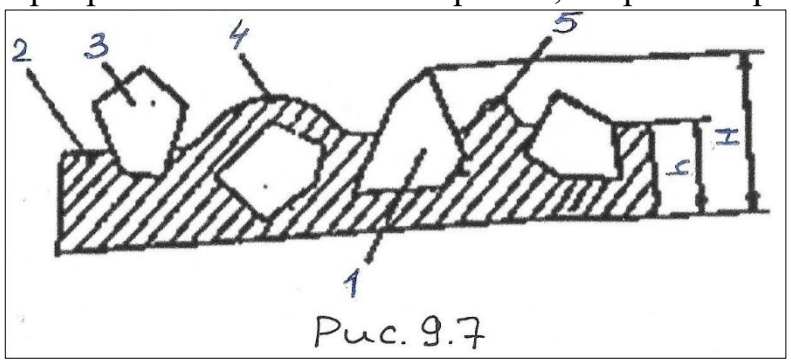


Рис.2.70.

Расположение зерен алмазного микропорошка в однослойном АГП: 1-алмаз; 2-никель; 3-слабо закрепленное зерно; 4,5-дендриты никеля.

Формирование дендритов никеля обусловлено электропроводностью алмаза, режимами электролиза и ростом слоя связывающего металла. В результате между первым рядом прикрепленных зерен и корпусом инструмента имеется слой электроосажденного, не содержащего алмазных зерен металла. Следует подчеркнуть, что зерна в покрытии располагаются на различном расстоянии Н от поверхности катода. Это обусловлено несколькими причинами. Поскольку между зерном и катодом всегда имеется слой электролита, то первоначальный рост осаждённого металла начинается по всей поверхности катода. При этом наблюдается «выталкивание» зёрен растущим металлом.

В многослойных покрытиях толщина алмазного слоя может достигать значительных величин (1,5-2мм и более). Строение многослойного АГП, распределение зёрен по толщине алмазной композиции, характер роста слоя никеля определяются величиной зерна и могут изменяться в зависимости от принятого способа нанесения и закрепления алмазного порошка.

По первому способу алмазный порошок наносится на покрываемую поверхность сплошным слоем зёрен, ещё не связанных на друг с другом, ни с корпусом инструмента. Закрепление последних растущим слоем металла происходит непрерывно в течение 3-4 суток без перерыва процесса электролиза

и удаления избыточного количества порошка. По мере роста связующего металла происходит захватывание им всё новых и новых зёрен порошка.

По второму способу общая толщина алмазного слоя образуется в результате неоднократно чередующихся операций прикрепления и закрепления алмазного порошка. В начале происходит прикрепление первого ряда алмазных зёрен, соприкасающихся с корпусом инструмента. При этом на его поверхности должна находиться 2-10 миллиметровая толщина избыточного алмазного порошка. После удаления не прикрепившегося алмазного порошка происходит закрепление первого ряда зёрен. Перед прикрепление второго ряда зёрен необходимо вновь нанести слой алмазного порошка толщиной 2-10мм.

Заготовки для алмазных головок обтачиваются на автоматах продольного точения с припуском в минус на рабочей части с учётом толщины наносимого алмазного слоя.

2.5. Технология изготовления зубных протезов

Зубной протез – ортопедический аппарат, устраняющий дефекты коронок отдельных зубов или дефекты зубных рядов при частичной или полной адентии.По методам фиксации: съемные(пластиночные, съемные мостовидные,бюгельные, полные съемные) и несъемные (вкладки, одиночные коронки, мостовидные и консольные протезы).По методам передечи жевательного давления : физиологичные (мостовидные 100% передачи жевательного давления через оставшиеся зубы), полуфизиологичные (бюгельные 50% через оставшиеся зубы и 50% через альвеолярный отросток), нефизиологичные(полные съемные – передают жевательное давление через альвеолярный отросток).

Несъемный протез — разновидность зубных протезов, фиксированных на опорных зубах с помощью цементов, выведение которых из полости рта возможно только врачом с использованием специальных инструментов.

Вкладками называют протезы, которые восстанавливают анатомическую форму зуба, заполняя собой дефект в его коронке.

Облицовка — покрытие поверхности изделия природным или искусственным материалом, отличающимся эксплуатационными (защитными) и декоративными качествами.

Получение вкладок проводится следующими способами:

 по восковой репродукции (модели) вкладки, созданной врачом:

 на модели челюсти (гипсовой или огнеупорной):

 фрезерованием из стандартной керамической заготовки на станке с программным управлением по видеоизображению полости в зубе, препарированной под вкладку.

Вкладки по этому способу создаются из металлических сплавов или полимеров. При получении вкладки из металла проводят следующие манипуляции:

1) установку литника на репродукцию и создание огнеупорной формы в опоке;

2) удаление воска из опоки;

3) отливку вкладки из металлического сплава;

4) отбеливание извлеченной из опоки литой вкладки и обрезку литника.

Окончательная отделка и полирование вкладки проводится врачом, проверяющим точность ее прилегания к стенкам полости зуба.

Данный способ используют при создании искусственной культи с вкладкой и штифтом (когда отсутствует коронка зуба) и вкладок с накладками и парапульпарными штифтами (когда значительно разрушена коронка зуба) при протезировании однокорневых зубов.

При создании вкладки из полимера зубной техник проводит:

1. покрытие всех поверхностей восковой репродукции вкладки, обращенных в полость зуба (для сохранения точности ее формы), слоем жидкого цинк-фосфатного цемента;

2. гипсование восковой репродукции вкладки в основание кюветы традиционным способом, оставляя свободной лишь часть воска, не покрытого цементом;

3. удаление из кюветы воска и подготовку полимер-мономерной композиции нужного цвета, которую подвергают полимеризации после ее формовки в кювету;

4. химическую очистку вкладки (после извлечения из кюветы) в 10—20% растворе соляной кислоты для растворения остатков цемента на поверхности вкладки и механическое удаление режущим инструментом полимерного облоя в плоскости соединения гипсовой пресс-формы.

В дальнейшем вкладка передается в клинику для завершения протезирования.

Облой — тонкий слой металла или полимерного материала по внешним контурам изделия, образовавшийся вследствие вытекания (выдавливания) материала из разъема штампа или литейной формы.

Различают следующие виды реставраций для восстановления зубного ряда:

Съемные. Их делят на полные и частичные. Полные применяют при адентии, когда своих зубов не осталось совсем. Частично-съемные закрепляют на оставшихся зубах, которые служат опорой.

Несъемные. В отличии от съемных конструкций, вкладки, коронки и мосты закрепляют во рту на весь период использования. Снимают их только для того, чтобы заменить на новые.

Условно-съемные. Такие протезы можно снять, но при определенных условиях. Съемную челюсть закрепляют на имплантах. Самостоятельно снять реставрацию не получится. Стоматолог же сделает это без труда, а после необходимых процедур, поставит обратно.

Для несъемных реставраций используют металлы, керамику и диоксид циркония. Металлокерамические коронки состоят из 2-х слоев: металлической основы, которую облицовывают керамическим составом. Толстые двойные стенки требуют сильной обточки.

Циркониевые коронки очень прочные, поэтому под них зубы

препарируют минимально. Новые керамические составы, такие, как E-max, достаточно прочные и при этом дают возможность подобрать цвет зубов любого оттенка. Эти же материалы могут использоваться для условно-съемного протезирования.

Для съемных протезов самым важным элементом является основа (базис). Изготавливают основу из: Акрила, Acry Free, Нейлона.

Самый жесткий материал- акрил. Его минусы - микропористость и быстрый износ. Акрил содержит вещества, вызывающие аллергию. Плюсы - низкая стоимость и легкость обработки.

Acry Free - материал, в котором аллергены отсутствуют, он мягче и тоньше акрила. К такому изделию легче привыкнуть.

Нейлоновые реставрации удобно располагаются во рту, не вызывают аллергии, но недостаточно хорошо распределяют жевательную нагрузку в силу своей мягкости.

Для элементов крепления частичных съемных конструкций используют металлы и пластмассу. А для базиса - тот же акрил и пластмассы на основе акриловых смол.

Первый клинический этап. Его осуществляет стоматолог-ортопед. Начинается работа со сбора анамнеза. Врач собирает информацию о состоянии здоровья, аллергических реакциях, условиях работы. Затем стоматолог проводит: Общее обследование пациента. Ортопед обращает внимание на прикус, строение челюстей, состояние протезного ложа. Определяется уровень сохранности оставшихся зубов, если таковые имеются.

Специальное обследование. Сюда входят двигательные, речевые пробы, регистрация особенностей жевания, глотания. Проводится рентгенологическое обследование, делают томографию.

Составление плана лечения. На этой стадии определяется вид реставрации и материал для изготовления.

Снятие слепков. С помощью ортопедической ложки, врач делает анатомические слепки челюстей. В несложных случаях, этого достаточно. При сложных дефектах, изготавливают индивидуальные ложки. Слепки отправляют в лабораторию, там к работе приступают техник. По гипсовым моделям техник изготавливает индивидуальную ложку. Для этого он использует пластмассы, термопластик или воск.

По окончании работы, он передает ложку врачу. Индивидуальная ложка используется ортопедом для получения функционального оттиска. Этот метод используют при: выраженной атрофии костной ткани; некоторых анатомических особенностях (складках на небном ложе, например); при одиночно стоящих зубах, в случае частичных конструкций. Второй клинический этап Определение центральной окклюзии (мест, соприкосновения при смыкании челюстей).

Техника изготовления зубных протезов включает отливку гипсовых моделей и отливку восковых базисов с окклюзионными валиками. По ним врач определяет центральное соотношение челюстей. Для этого восковую модель помещают в рот и проводят измерения высоты. Ортопед наносит метки на

валики для фиксации зубов. На этом этапе подбирают цвет для будущих коронок. В лаборатории техник помещает модель в окклюдатор, подбирает размер, цвет и форму искусственных зубов в соответствии с рекомендациями ортопеда и распределяет их в челюсти. Затем он проверяет все элементы конструкции.

При изготовлении бюгельных реставраций, на этом этапе отливают каркас. Его шлифуют и полируют. Третий клинический этап Примерка. Цель - устранить ошибки, проверить эстетичность и провести речевые пробы. Подгонку врач осуществляет сам, для устранения сложных ошибок изделие отправляют в лабораторию. После подгонки проводят установку. Момент получения реставрации пациентом считается заключительным клиническим этапом работы.

Производство зубных протезов в собственной лаборатории клиники помогает ортопеду и технику взаимодействовать на постоянной основе, прояснять отдельные вопросы в ходе изготовления реставрации. К тому же, работая непосредственно в клинике, техник больше заинтересован в том, как делается зубной протез, репутация клиники зависит от его квалификации. Это повышает ответственность, что сказывается на качестве конструкций и удобстве их использования.

Несъемные протезы. К несъемным реставрациям относят вкладки, виниры, коронки и мостовидные протезы. Схема изготовления отличается только мелкими деталями. Для примера возьмем изготовление мостовидной конструкции. Подготовка к изготовлению несъемного зубного протеза начинается со сбора анамнеза, постановки диагноза и препарирования зубов. Заканчивается первый клинический этап снятием слепков.

2.6. Технология изготовления имплантатов

Основные сведения об имплантатах, предъявляемых к ним требованиях и применяемых для их изготовления материалах

Имплантат - это изделие из биосовместимого материала, которое вводится в организм хирургическим путѐм для замены какого-либо органа или его части и выполняет утраченную этим органом функцию. На сегодняшний день существует большое разнообразие конструкций имплантатов: эндопротезы тазобедренного, коленного, голеностопного, локтевого суставов, ортопедические пластины, протезы для челюстнолицевой хирургии, а также дентальные имплантаты, предназначенные для устранения дефектов зубных рядов.

К имплантатам, с учетом условий их эксплуатации, предъявляются следующие основные требования:

- остеоинтегрирующая способность (способность поверхности металлического имплантата образовывать тесный контакт с костной тканью);
- простота установки имплантата и надежность его закрепления;
- длительность функционирования имплантата.

Поверхность имплантата должна обеспечивать адсорбцию и адгезию органической и минеральной составляющих кости и не угнетать деятельность

остеобластов и остеоцитов. В этой связи различают три понятия: биоинертность, биосовместимость и биоактивность.

Биоинертность – это свойство материала имплантата, при котором отсутствуют определяемые аппаратурно или гистологически какие-либо реакции живых тканей на материал имплантата и на сам имплантат в целом, а также какое-либо заметное влияние тканей и жидкостей, приводящее к изменению микроструктур и снижению комплекса физико-механических свойств материала.

Биосовместимость – это способность материала при ограниченном вхзаимодействии с тканями и жидкостями организме не оказывать на них токсического влияния, а также сохранять максимально длительное время свои собственные физико-механические и иные свойства, необходимые для исполнения функций.

Биоактивность – это способность материала имплантата в целом (или, по крайней мере его поверхности) вступать в минеральный обмен с окружающими тканями (преимущественно костными), образуя прочную химическую связь «имплантат-ткань», которая должна обеспечить высокую стабильность имплантата.

Степень удовлетворения указанных характеристик, в первую очередь, определяется применяемыми для изготовления имплантатов материалами. В настоящее время согласно международному стандарту ИСО 5832: 1996 в имплантационной технологии используются материалы, которые в той или иной степени соответствуют выше приведенным требованиям и разрешены для изготовления имплантатов.

К ним относятся:

- биотолерантные: коррозионо-стойкие стали, хром-кобальтовый сплав;
- биоинертные: титан, цирконий, золото, корундовая керамика, стеклоуглерод, никелид титана, сплавы титана Ti6Al4V, Ti6Al7Nb.
-биоактивные: покрытия металлических имплантатов гидроксиапатитом, трикальцийфосфатной керамикой и т.п.

Основные факторы, влияющие на протекание процесса интеграции имплантата в организме человека

Первостепенное влияние на процесс адсорбции белков сыворотки крови, которые первыми вступают в контакт с поверхностью титанового имплантата, оказывает степень ее смачиваемости биологическими жидкостями. Дело в том, что от этого показателя зависят условия гарантированной доставки (транспортирования) биомолекул к поверхности имплантата. Поэтому, ее геометрические и физические характеристики должны обеспечивать максимальную смачиваемость поверхности имплантата вступающими с ней в контакт биологическими жидкостями.

Современные представления о механизме реакций живых тканей на имплантат предполагают, что граница между ними динамична и насыщена многими элементами. В результате механической обработки, экспозиции на воздухе, стерилизации и воздействия биологического окружения

поверхностный слой имплантата всегда отличается от состава материала в его объеме – поверхность имплантата покрывается оксидным слоем.

Первой в контакт с имплантатом вступает сыворотка крови, белки которой адсорбируются на оксидах (рис. 2.71).

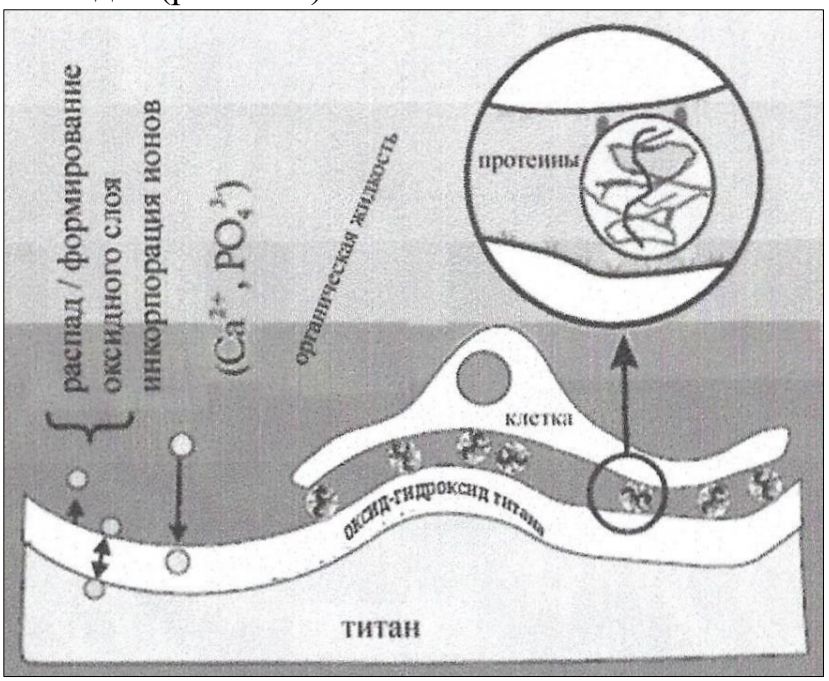


Рис.2.71.

В результате поверхность имплантата покрывается плотным слоем протеинов. Любой материал, такой как клетки, достигает поверхности через более позднее время и не соприкасается с фактической поверхностью имплантата, а уже контактирует со слоем адсорбированных на ней протеинов. Процесс адгезии клеток включает в себя соприкосновение и их распространение на поверхности с последующим более поздним дифференцированием и ростом клеток. Они присоединяются к протеинам, адсорбированным на поверхности имплантата, через определенные трансмембранные молекулы адгезии и к определенным участкам на этих протеинах. Таким образом, процесс взаимодействия ткани организма с поверхностью имплантата характеризуется последовательным протеканием следующих основных стадий, которые условно показаны на (рис. 2.72).

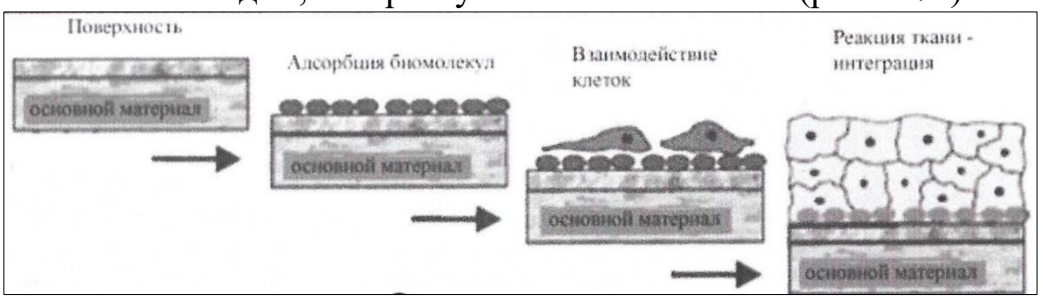


Рис.2.72.

– поверхность титанового имплантата имеет поверхность раздела с соответствующими свойствами твердого тела и окружающей жидкой фазы;

– слой протеинов адсорбируется и структурируется в соответствии с физико-химическими свойствами поверхности в равновесном состоянии;

– клетки распознают цепочки протеинов и вступают в реакции с ними;

– ткань структурируется в соответствии со свойствами протеинов и слоем клеток на поверхности.

Отсюда следует, что первостепенное влияние на процесс успешной интеграции имплантата в организме человека оказывает стадия, на которой происходит формирование на его поверхности слоя белков (протеинов).

В свою очередь, основными факторами, определяющими эффективное протекание этой стадии, являются высокая смачиваемость поверхности имплантата биологическими жидкостями и ее наибольшая удельная поверхность, которая зависит от параметров ее шероховатости. Развитый рельеф поверхности имплантата способствует тому, что микронеровности на его поверхности служат своего рода замком (сцеплением) между новообразованной костной тканью и поверхностью самого имплантата.

Поэтому основным параметром, определяющим возможное адсорбирование частиц, является фактическая (активная) площадь поверхности подложки, которая, в свою очередь, зависит от ее топографии и, в частности, от ее шероховатости, которая определяется принятой технологией окончательной обработки (модифицирования) поверхности имплантата.

Основные методы модифицирования поверхности металлических имплантатов

На сегодня данная операция может выполняться с использованием самых различных методов поверхностной обработки материалов, включая механические, химические, электрохимические и электрофизические методы, а также путем формирования на ней различных пористых и биоактивных покрытий. Учитывая столь значительный арсенал известных способов модифицирования поверхности имплантатов, ниже отметим только тех из них, которые нашли наибольшее применение при производстве имплантатов.

Химическое оксидирование как способ модифицирования поверхности применяется для создания оксидной плѐнки на поверхности изделия или заготовки в результате окислительно-восстановительной реакции. Оксидирование титана и его сплавов характеризуется интенсивным взаимодействием металла с воздушной средой и быстрым ростом толщины покрытия за счет высокой химической активности титана.

Кислотное травление - травление высококонцентрированными растворами кислот, осуществляется с целью придания поверхности имплантата развитой, шероховатой топографии. Для этого используются следующие кислоты: HCl, H2SO4, HNO и HF. Кислотное травление приводит к образованию на поверхности имплантата микроскопических пор, размер которых находится в пределах от 0,5 до 2 мкм в диаметре.

Микродуговое оксидирование (МДО) позволяет получать многофункциональные керамикоподобные покрытия с уникальным комплексом свойств, в том числе износостойкие, коррозионностойкие, теплостойкие, электроизоляционные покрытия.

Отличительной особенностью МДО является участие в процессе формирования покрытия поверхностных микроразрядов, оказывающих весьма существенное и специфическое воздействие на формирующееся покрытие, в результате которого состав и структура получаемых оксидных слоев существенно отличаются, а свойства значительно повышаются по сравнению с обычными анодными пленками.

Струйно-абразивная обработка. Ее сущность заключается в том, что на обрабатываемую поверхность направляется струя твердых абразивных частиц из разных материалов и разных размеров, которые, обладая определенной кинетической энергией при соударении с ней совершают работу, изменяя состояние поверхности. Струйно-абразивной обработке могут подвергаться как простые поверхности (плоские, цилиндрические), так и фасонные. Формируемая в этом случае шероховатость поверхности не имеет однонаправленных следов обработки и на ней наблюдается однородная (гомогенная) хлопьевидная структура с размеров выступов порядка 20-40 мкм рис. 2.73).

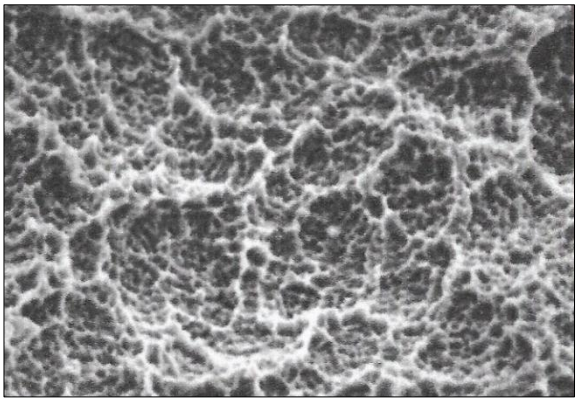


Рис.2.73.

Дробеструйная обработка является разновидностью струйноабразивной и заключается в нагнетании на обрабатываемую поверхность имплантата твердых керамических частиц с большой скоростью в струе сжатого воздуха. В качестве материалов для дробеструйного модифицирования поверхности имплантатов используют оксид алюминия, оксид титана и частицы кальций-фосфатной керамики. Формируемая в этом случае шероховатость определяется главным образом дисперсностью используемых частиц. (рис. 2.74)

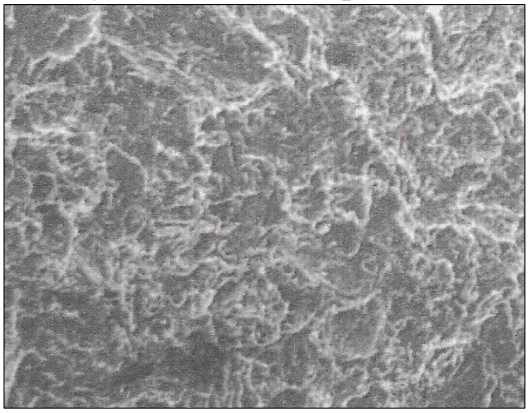


Рис.2.74.

Сущность плазменного напыления заключается в том, что в электрическую дугу, горящую между двумя электродами подается поток плазмообразующего газа, в качестве которого может использоваться воздух, аргон, смесь аргона и водорода. Проходя через дугу газ ионизируется и получается плазма – высокоэнтальпийная система, состоящая из ионов, атомов и молекул, которая стремиться уменьшить свою энтальпию, т.е. перейти в равновесие за счет передачи энергии в окружающую среду. Поэтому частицы порошка, подаваемые в плазменную струю, разогреваются до высокой температуры и ускоряются потоком газа до высокой скорости. Оплавленные или расплавленные частицы порошка в результате столкновения с поверхностью имплантата формируют на ней покрытие.

В качестве напыляемых покрытий могут применяться порошковый титан, гидроксиапатит, смесь гидроксиапатита и порошкового титана, а также другие биоактивные материалы. Получаемые в этом случае на поверхности имплантата покрытия имеют пористую структуру, что в значительной степени определяет эффективность прорастания в него костной ткани. (рис. 2.75)



Рис.2.75.

В последние годы с целью улучшения качества стоматологических имплантатов стал применяться способ лазерной обработки их поверхности. В этом случае луч лазера, воздействуя на поверхность, приводит к нагреву, плавлению и испарению титана (рис. 2.76).

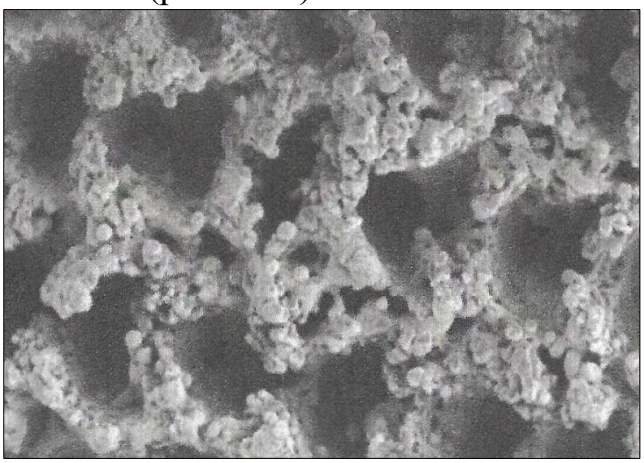


Рис.2.76.

По результатам проведенных исследований показано, что на структуру поверхностного слоя количество элементов на поверхности (выступы) существенное влияние оказывают длительность и частота следования импульсов. При длительности импульсов 8 мс поверхностный слой обладает большим количеством выступов со средним значением 0,51-и равномерностью распределения пор по поверхности. Среднее значение процентного соотношения количества углублений на модифицированной поверхности образцов составляет диапазон от 51 до 63 %, что приближено к аналогичным характеристикам костной ткани.

Изменяя режимы лазерной обработки и закон перемещения луча по поверхности имплантата, можно получить поверхность с заданным диаметром пор, их расположением и параметрами шероховатости.

Применение электроэрозионной обработки

В процессе ЭЭО на поверхности образуются углубления в виде сферических лунок. При воздействии серии разрядов поверхность приобретает кратерообразную форму с четко выраженными углублениями. При этом за счет управляемого расположения лунок на модифицированной поверхности можно целенаправленно управлять параметрами формируемого микрорельефа. В частности, получать поверхность с частично регулярным микрорельефом (рис. , который положительно сказывается на ее эксплуатационных показателях.

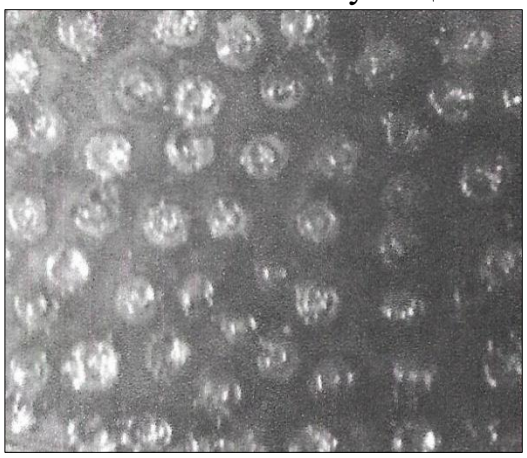


Рис.2.77.

Определение смачиваемости поверхности твердого тела жидкостью методом свободно лежащей капли

Смачиваемость твердого тела жидкостью – это способность жидкости растекаться по поверхности твердого тела под влиянием поверхностно-молекулярных сил. Контур капли на поверхности твердого тела, по которому происходит соприкосновение трех фаз-твердой, жидкой и газообразной, называется периметром смачивания.

Смачивание зависит от соотношения между силами сцепления молекул жидкости с молекулами (или атомами) смачиваемого тела (адгезия) и силами взаимного сцепления молекул жидкости (когезии).

Если жидкость контактирует с твердым телом, то существуют 2 возможности:

1. молекулы жидкости притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам твердого тела. В результате силы притяжения между молекулами жидкости собирают ее в капельку. Так ведет себя ртуть на стекле, вода на парафине или «жирной» поверхности. В этом случае говорят, что жидкость не смачивает поверхность;

2. молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твердого тела. В результате жидкость стремится прижаться к поверхности и расплывается по ней. Так ведет себя вода на чистом стекле или дереве. В этом случае говорят, что жидкость смачивает поверхность.

На (рис. 2.78) показана форма капли на поверхности твердого тела при различной смачиваемости.

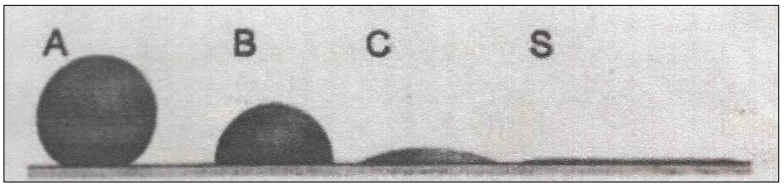


Рис.2.78.

A—очень слабое смачивание, капля практически шарообразна. B и C—смачивание с большей площадью контакта капли жидкости с твердой поверхностью. S—полное смачивание, жидкость растекается по поверхности.

Мерой смачивания твердого тела жидкостью служит краевой угол смачивания θ , образованный поверхностью твердого тела и касательной к поверхности капли в точке ее соприкосновения с телом (рис. 2.97).

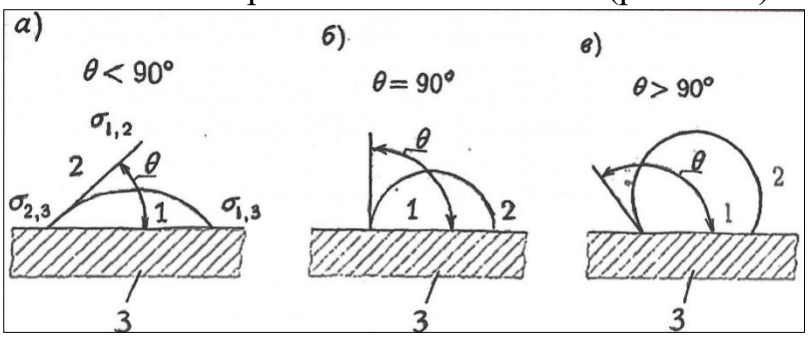


Рис.2.79.

Если краевой угол θ<90°, то жидкость смачивает твердую поверхность; если угол θ>90°, то жидкость не смачивает твердую поверхность; если угол θ=90°, то жидкость находится в промежуточном состоянии.

Смачиваемая водой поверхность твердого тела, для которой θ< 90°, называется гидрофильной. Не смачиваемая водой поверхность твердого тела, для которой θ> 90°, называется гидрофобной. Смачивание происходит в результате проявления молекулярных сил, действующих на разделе трех фаз: твердой-3, газообразной-2, жидкой-1.

При равновесии сил, приложенных к единице длины периметра смачивания, будем иметь:

$$\delta_{1-3} + \delta_{1-2} \cdot \cos\theta = G_{2-3} (13.1)$$

$$\cos\theta = \frac{G_{2-3} - G_{1-2}}{G_{1-2}} (13.2)$$

где G_{1-2}, G_{1-3}, G_{2-3}–поверхностное натяжения на границе фаз 1-2, 1-3, 2-3.

Для определения краевого угла смачивания на исследуемую поверхность наносят каплю соответствующей жидкости, фотографируют ее и по полученной фотографии определяют необходимые для расчета краевого угла смачивания параметры (рис. 2.80).

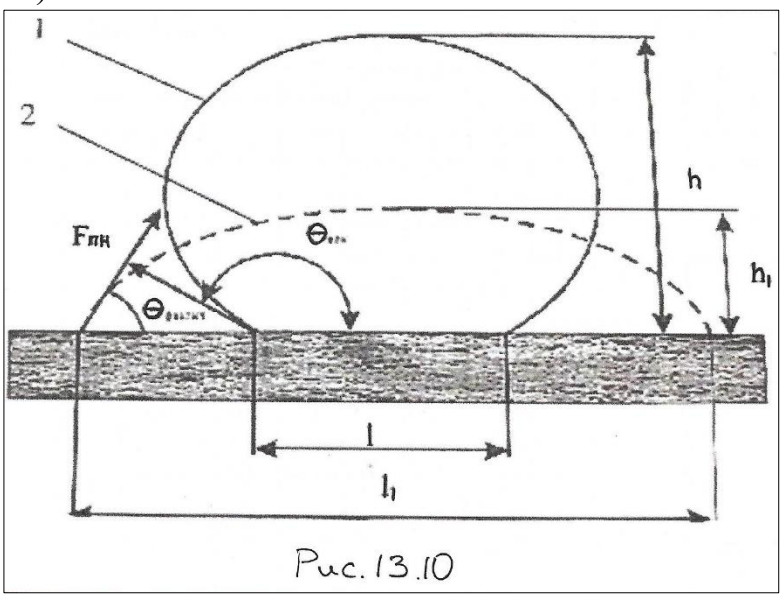


Рис.2.80.

В частности, l,h-диаметр и высота капли, лежащей на полированной (исходной) поверхности, а l_1,h_1 – диаметр и высота капли, лежащей на исследуемой поверхности.

Кроме того, для расчета данного краевого угла смачивания необходимо располагать данными как профиля капли 1, лежащей на полированной поверхности, так и профиля капли 2, лежащей на исследуемой (шероховатой) поверхности.

Краевой угол смачивания (угол θ) образуется векторами сил поверхностного натяжения, направленными по касательной к поверхностям раздела «твердое тело-жидкость» и «жидкость-воздух». При полном смачиванииθ= 0°, а при полном несмачиванииθ=180°. Значение угла θ вычисляют по формуле:

$$\sin\left(\frac{\theta_{\text{расч}}}{2}\right) = \frac{l_1 \cdot h_1 \cdot k^2}{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2 \cdot k^4 + h_1^2} (13.3)$$

$$k = \frac{R_a}{R_{a_{\text{исх}}}}$$

где R_a – параметр шероховатость обрабатываемой поверхности; $R_{a_{\text{исх}}}$ – параметр шероховатости полированной (исходной) поверхности.

Из формулы определяется значение расчетного краевого угла смачивания:

$$\theta_{\text{расч}} = 2 \cdot arcsin\left(\frac{l_1 \cdot h_1 \cdot k^2}{\left(\frac{l_1}{2}\right)^2 \cdot k^4 + h_1^2}\right)$$

2.7. Технология изготовления колющих режущих медицинских инструментов

2.7.1. Изготовление шприцев однократного применения

Основные сведения о шприцах

Шприц (название его происходит от немецкого spritzen – брызгать) – название инструмента, применяемого в технике, кулинарии и медицине для введения и выведения различных жидкостей или газов с помощью поршневого давления. Шприцы медицинские – инструменты, используемые для инъекций, проведения диагностических пункций или отсасывания патологического содержимого из полостей человеческого организма. Принцип его работы заключается в том, что, когда поршень поднимается, а игла помещена в любой сосуд с жидкостью, между поверхностью и инструментом создается вакуум. Поскольку на жидкость в сосуде действует атмосферное давление, она поднимается в его полость.

Виды медицинских шприцев

Одноразовые шприцы (рис. 2.81). В настоящее время они получили самое широкое распространение и используются для проведения различных инъекций.



Рис.2.81.

Используются одноразовые шприцы со следующими объемами: 10, 20 и 50 мл. Помимо обычных применяются специальные виды шприцев, например, маленький инсулиновый шприц или шприц Жане с объемом 150 мл.

Инсулиновые шприцы (рис. 2.82) используются для введения инсулина в организм человека.

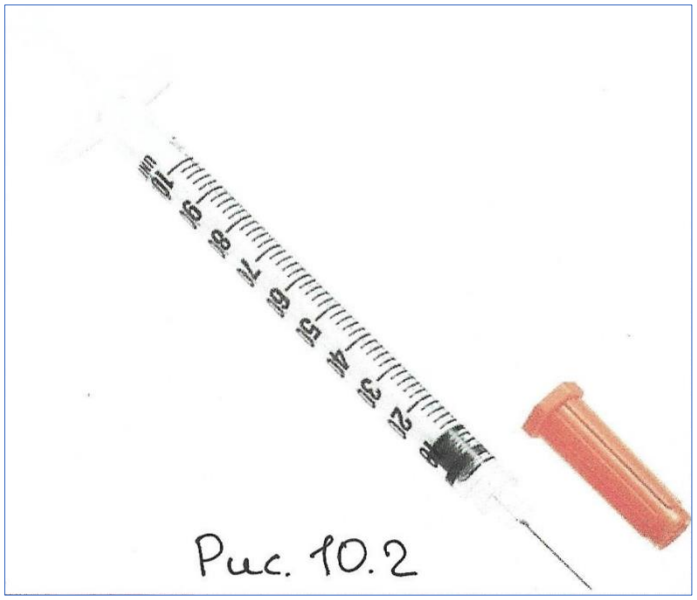


Рис.2.82.

Объем такого шприца – 1 мл. Он имеет тонкую и достаточно короткую иглу, которая делает введение лекарства безболезненным. В связи с тем, что это лекарство практически всегда самостоятельно вводится больными, такой факт очень важен. Все виды инсулиновых шприцов размечены не только в миллилитрах, но и в ЕД (единицах, с помощью которых совершается дозировка инсулина). Во всех препаратах, существующих сегодня, в 1 мл содержится 100 ЕД. Стандартный инсулиновый шприц имеет разметку с шагом в 1 ЕД, детский шприц – 0,5 или 0,25 ЕД.

Шприц Жане. На (рис. 2.83) представлена фотография общего вида шприца Жане.

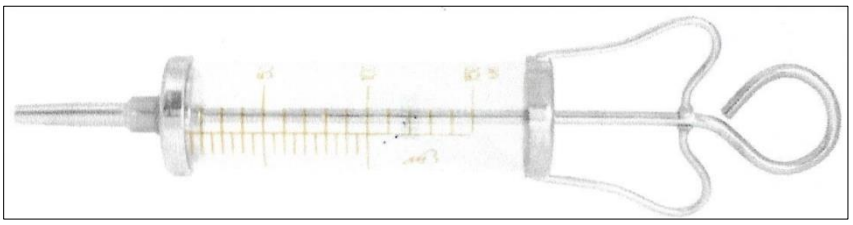


Рис.2.83.

Это самый большой шприц, емкость которого составляет 150 мл. Шприц Жане чаще всего используется для промывания полостей организма человека или отсасывания жидкостей, но может применяться и не по прямому назначению. Например, иногда его используют при постановке клизм. Может применяться для внутрибрюшных, внутривенных или интратрахеальных вливаний.

Самоблокирующиеся шприцы.Эти шприцы (рис. 2.84)предназначены для регулярных масштабных программ иммунизации населения или же проведения любых других инъекций в больших объемах.

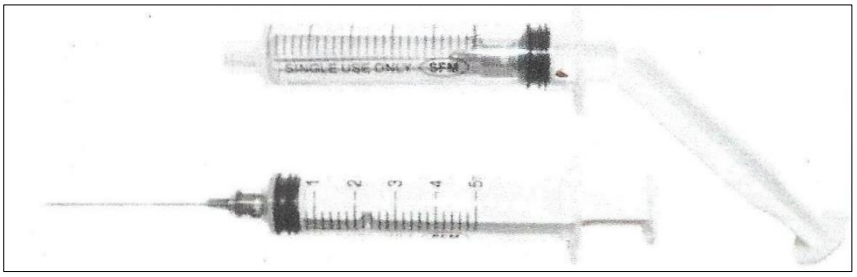


Рис.2.84.

Их особенность в том, что повторное использование такого шприца невозможно, так как после первого использования поршень блокируется, и шприц далее утилизируется.

Шприц-тюбик.Этишприцы предназначены для одноразового введения какого-либо лекарственного препарата (рис. 2.85).

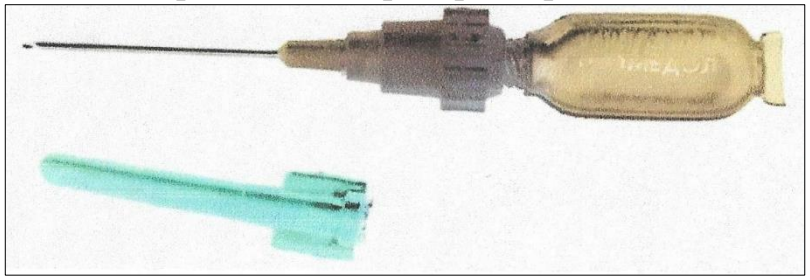


Рис.2.85.

Они полностью стерильны и уже содержат нужную дозу лекарства в герметичном сосуде-корпусе.

В настоящее время наибольшее распространение получили одноразовые шприцы. Различают два основных вида одноразовых шприцев: двух- и трехкомпонентные шприцы (рис. 2.86).

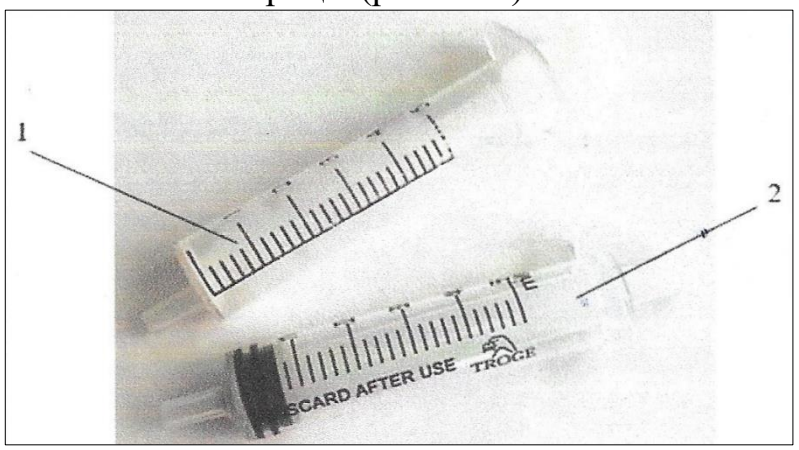


Рис.2.86.

Первые состоят из цилиндра и поршня со штоком, выполненных в виде одной детали. В трехкомпонентных шприцах дополнительно используется уплотнитель, который расположен на конце поршня. Наличие этого элемента обеспечивает по сравнению с двухкомпонентным шприцем большую плавность перемещения штока-поршня при меньшем прикладывании к нему усилия.

Основные этапы изготовления шприцев однократного применения

В качестве исходного материала для изготовления цилиндров и штоков применяется пропилен и полиэтилен, т.е. термопластичные пластмассы.

Формообразование цилиндра и штока шприца осуществляется литьем под давлением с использованием соответствующих пресс-форм на так называемых термопластоавтоматах.

После охлаждения полученных изделий с использованием метода шелкографии или офсетной печати на наружную поверхность цилиндра наносится мерная шкала.

Для трехкомпонентного шприца на шток надевают уплотнение и соединяют с цилиндром, а для двухкомпонентного шток непосредственно соединяют с цилиндром.

После этого осуществляют стерилизацию шприца и затем производят его вакуумную упаковку.

Следует подчеркнуть, что все эти операции выполняются на полностью автоматизированном оборудовании. Одна такая технологическая линия обеспечивает выпуск 150-200 млн шприцев в год.

2.7.2. Изготовление инъекционных игл

Основные сведения обинъекционных иглах

Одноразовые медицинские стерильные инъекционные иглы предназначены для проведения внутримышечных, внутрикожных и подкожных инъекций.

Основные элементы и геометрические параметры инъекционной иглы приведены на (рис. 2.87).

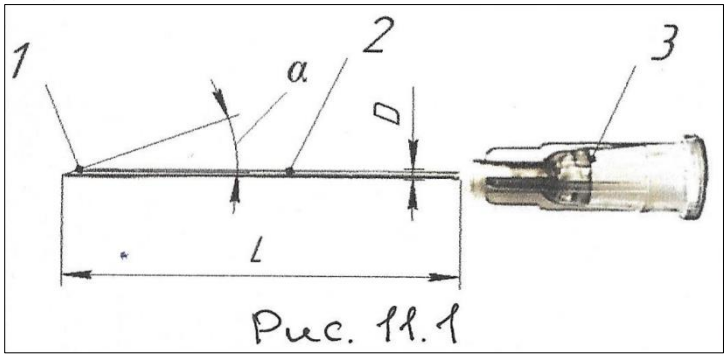


Рис.2.87.

Игла состоит из трубки *1* и головки *2*. Один конец иглы, предназначенный для проникновения в ткани, остро заточен и называется острием иглы. Другой конец, который насаживается на подыгольный конус шприца, называется канюля (головка иглы).

Она состоит из трубки 2, один конец которого заострен, а другой прикреплен к головке 3 для присоединения к шприцу.

Размеры иглы определяются ее длиной L и диаметром d. Длина иглы измеряется в миллиметрах, начиная от стыка головки иглы с трубкой до верхней точки среза. Диапазон длин игл составляет 10-50 мм. Некоторые иглы для специального назначения могут быть длиннее или короче. При производстве

медицинских игл важен процесс заточки, так как качество иглы определяется ее остротой. Введение иглы в вену представляет собой процесс разрезания мягких тканей, эффективность которого определяется остротой и геометрией среза иглы. Существует множество разных видов заточек для игл. Наиболее популярным считается стандартная заточка, которая называется «кинжальная»

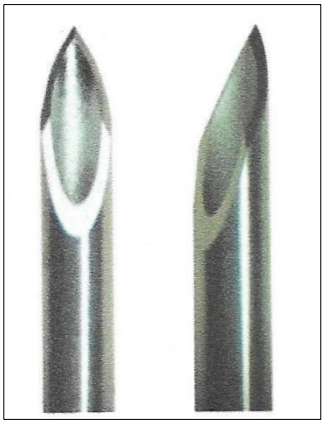


Рис.2.88.

Обычно стандартный срез иглы имеет три грани: первая грань, которая сформировывается при заточке трубки под определенным углом и двух боковых граней, которые являются результатом последующей шлифовки с каждой стороны первой грани для получения острия иглы и режущей кромки.

Длина среза иглы – это наибольшее расстояние среза, замеренное от верхнего кончика иглы до ближайшей области заточки. Длина бокового скоса иглы измеряется между стыком боковой грани, внешней поверхностью трубки и верхнего кончика иглы. Обычно угол среза α составляет 12-18^{o}, который обеспечивает создание острой режущей кромки.

Основные этапы изготовления инъекционных игл

Исходным материалом для изготовления инъекционных игл является лента из нержавеющей стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014 или 36НХТЮ по ГОСТ 10994-74. Технология изготовления инъекционных игл является трудоемким процессом и включает следующие основные этапы производства.

Заготовительный. С помощью дисковых ножей лента разрезается на отдельные полосы, ширина каждой из которых определяется наружным диаметром получаемой из нее трубки.

Формование исходной трубки. На (рис. 2.89) схематично представлена последовательность процесса прокатки исходной полосы 1 в трубку 2 в пяти клетях непрерывного стана. При этом получаемая трубка имеет диаметр порядка 4 мм.

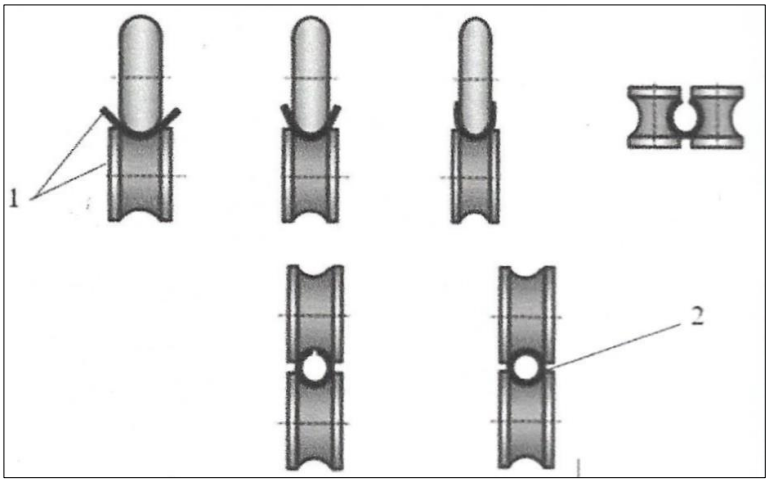


Рис.2.89.

Лазерная сварка.На (рис. 2.90 а) показана фотография зоны сварки трубки 1 лазерным лучом 2 с получением продольного сварного шва, структура поперечного сечения 3 которого приведена на (рис. 2.90 б).

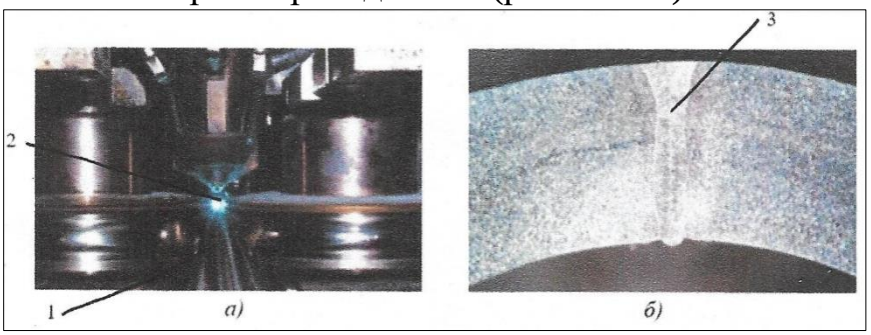


Рис.2.90.

После сварки трубки охлаждают водой и проверяют на целостность, пропуская воздух.

Волочение. Эта операция предназначена для уменьшения диаметра трубки. Для этого ее вытягивают с использованием волочильных станов. Сущность процесса волочения заключается в протягивании заготовки *1*, за счет приложенного к ее концу усилия Р, через сужающее отверстие (фильеру) в инструменте *2*, называемой волокой, как показано на (рис. 2.91).

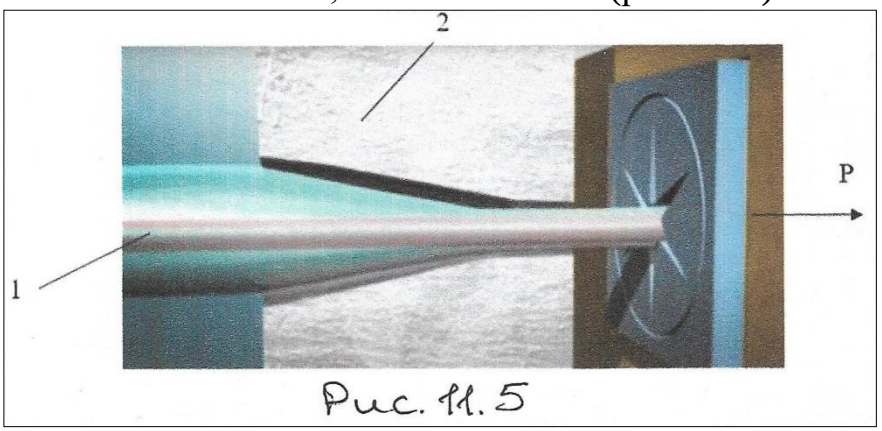


Рис.2.91.

В результате площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а ее длина увеличивается. После каждого перехода волочения, для получения необходимого диаметра трубки, производится термообработка (отжиг), а также промывка в автоклаве.

Нарезание заготовок игл из трубки.При помощи автоматического отрезного станка трубка нарезается на отдельные заготовки необходимой длины. На этом этапе проводится выборочный контроль диаметра и длины заготовок игл.

Склеивание заготовок игл липкой лентой.Заготовки игл равномерно раскладываются и подготавливаются для загрузки в машину для склеивания. Использование мерных барабанов 2 (рис. 2.92) с пазами обеспечивает равномерный забор и выгрузку заготовок игл 1 в блок склеивания.

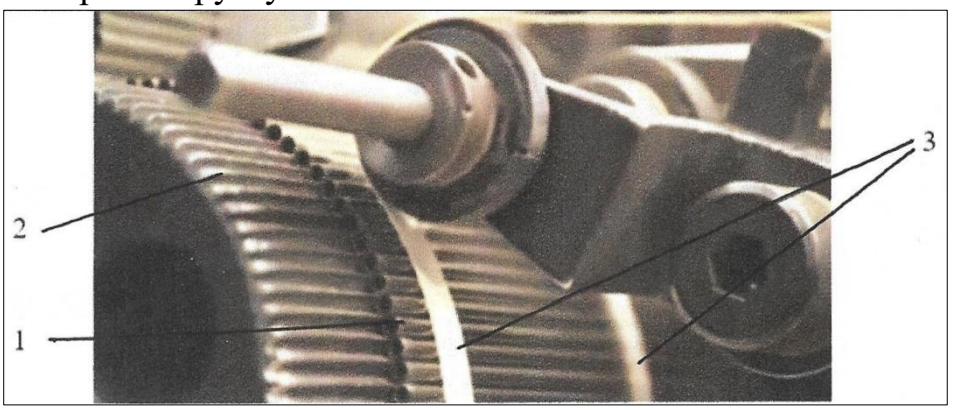


Рис.2.92.

После этого, на поверхность заготовок игл наклеивается липкая лента 3, которая удерживает их во время заточки. По завершению этой операции лента с заготовками игл разрезается на отрезки требуемой длины.

Заточка заготовок игл. Полученные ленты с заготовками игл транспортируются в бункер загрузки автоматического заточного станка. Один конец заготовки затачивается и отрезается согласно стандартам страны заказчика. Заточка и выполнение среза иглы происходит автоматически. После завершения цикла, координатно-шлифовальный станок возвращается в исходное положение

Шлифование поверхности иглы. При использовании измельченных гранул происходит удаление грязи и посторонних примесей с поверхности заготовки игл. Одним из решающих способов повышения качества заточки инъекционных игл можно считать дробеструйный обдув острия заточенных игл стеклянными шариками диаметром 0,2-0,4 мм (сатинирование).

Электролиз трубок игл. После завершения процесса шлифования заготовки игл становятся трубками игл. Полировка и промывка поверхности трубок игл осуществляется при помощи электролизной машины. Данная обработка повышает остроту среза, а также полностью устраняет остаточные заусенцы на заточенной поверхности.

Ультразвуковая очистка. Все трубки иглы проходят ультразвуковую чистку, очистку горячей водой, водой под высоким давлением и при необходимости некоторыми химическими жидкостями.

Контроль качества. Заготовки среза иглы проходит контроль. Некачественные иглы отбраковываются.

Сборка инъекционных игл. Она производится путем присоединения трубки к головке иглы (канюле). На сегодня для осуществления этой операции применяются высококачественные клеящие составы, такие как ультрафиолетовые клеи (УФ-клеи), специально разработанные для медицинского оборудования. УФ-клеи содержат в своем составе фотокатализаторы, реагирующие на определенную длину волны света и запускающие процесс отверждения клея. Трубка иглы 3 с одной стороны опрессовывается соединительной деталью 2 для фиксации в головке иглы (рис. 2.93).

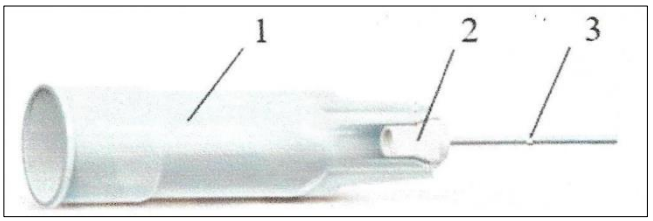


Рис.2.93.

Затем игла продевается через головку, а на основание головки наносится медицинский УФ-клей. Под последующим воздействием ультрафиолетового облучения клей быстро отверждается. Скорость полимеризации медицинского клея составляет 5-10 секунд и может регулироваться в зависимости от длины волны излучения и мощности источника УФ-облучения.

2.8. Технология производства электротехнических деталей и изделий

Постоянные магниты. Типовые формы магнитов. Материалы для магнитов. Технология изготовления магнитов. Изготовление магнитов из алии и алниси литьём. Изготовление магнитов спеканием (металлокерамика). Изготовление магнитов прессованием (металлопластика). Классификация магнитопроводов. Изготовление формованных магнитных проводов. Изготовление пластинчатых магнитопроводов. Изготовление ленточных магнитопроводов. Технология намоточных работ. Технологические характеристики обмоток. Заготовительные операции: изготовление прокладок, подготовка выводов, снятие изоляции, облуживание. Намотка катушек трансформаторов. Намотка каркасных и бескаркасных обмоток. Пропитка, заливка, герметизация намоточных изделий. Технология балансировочных работ. Статическая и динамическая балансировка.

2.9. Проектирование и изготовление – единый процесс создания изделия

В 1987 г. впервые удалось напрямую по компьютерным данным изготовить трехмерную модель. Модели могли принимать практически любую

форму. Внутренние полости и отверстия получались без применения механической обработки. В зависимости от сложности модели ее можно было изготовить на несколько часов быстрее, чем традиционными методами. Эти модели были сравнимы с моделями, изготовленными из хрупкой пластмассы. Такие модели могли служить только для визуальной оценки их дизайна. Их использование в качестве функциональных с выводами о механических или термических нагрузках было невозможно. Это дало возможность отказаться не только от специальных инструментов, форм и приспособлений, но и от традиционных станков. Было достаточно компьютерной программы, которая содержала 3х-мерную геометрическую информацию и машины, которая бы послойно преобразовывала эту информацию посредством фотополимеризации в геометрическую модель.

Метод получил название "Стереолитография", а машина - "Стереолитографический аппарат".

Стереолитография возглавила целый ряд "быстрых" способов построения моделей.

Эти новые методы получили огромную популярность. Зарубежная Высшая школа стала уделять огромное внимание всем граням этой технологии.

На сегодняшний день способы превратились из редко применяемых, технически привлекательных и экономически непривлекательных способов создания моделей в элемент, определяющий скорость в цепочке разработки и изготовления изделий.

Наряду со стереолитографией были разработаны и другие способы. Палитра материалов была увеличена, благодаря чему удалось существенно улучшить физические и технические свойства моделей. Снижающееся время производства, более высокая точность и расширяющееся внедрение в промышленность в совокупности с трехмерными установками привели к улучшению моделей и снижению их себестоимости.

Использование - технологий позволяет постоянно сокращать время конструирования изделий с одновременным улучшением их качества, т.к. параллельное конструированию изготовление различных моделей выявляет практически все ошибки в размерах и форме сопрягаемых элементов конструкции. Т.е. проблемы сборки отпадают уже на стадии проектирования.

Время разработки изделия существенно сокращается.

Следующие технологии освоили металлические материалы и минимально возможные серии. Цель - изготовление деталей из материалов со свойствами, похожими по механико-технологическим свойствам на материалы будущих серийных изделий для многих не металлических материалов была достигнута. Чтобы выдержать конкуренцию, технологии в комплексе с системами должны обеспечить следующее:

при минимальных затратах времени получить трехмерное представление объекта; сократить процесс конструирования изделия и улучшить его качество; исключить ошибки в размерах, форме и взаимном расположении сопрягаемых поверхностей до сборки изделия.

Одновременно снижаются расходы на усовершенствование продукции. Время от возникновения идеи до выхода изделия на рынок резко сокращается. Кроме того, поступающее на рынок изделие имеет гарантированно высокое качество, маркетинг которого может идти параллельно с его созданием. Демонстрационные модели или, в зависимости от изделия, функциональные модели позволяют изготавливать каталоги, проводить презентации и демонстрации на выставках, получать разрешения на изготовление изделия параллельно с его конструированием.

2.9.1.Проектирование изделия - изготовление изделия - быстрое усовершенствование изделия

Методы RP находятся в процессе быстрого и постоянного развития и превратились из инструмента для быстрого проектирования изделий в инструмент для быстрого создания изделий. Поэтому необходимо рассматривать совместный процесс, состоящий из проектирования изделий, проектирования средств производства и производства. Однако ранняя фаза проектирования изделия для успеха на рынке имеет особое значение. Рассмотрим, почему это так, почему и какие методы помогают ускорить этот процесс, какую роль при этом играют модели и, какую специальную роль играют

Для технического и экономического успеха изделие должно проектироваться так, чтобы оно могло быть изготовлено быстро, надежно и дешево при высочайшем качестве, минимальной стоимости проектирования и в кратчайшее время. При этом внешние условия создания изделий постоянно изменяются.

В дальнейшем предполагается возрастающая роль прибыли при уменьшении затрат. В будущем еще в большей мере нужно исходить из того, что изменяющиеся условия следует узнавать как можно раньше, чтобы выработать подходящую стратегию производства изделий.

Несмотря на то, что заблаговременное обобщение изменяющихся требований к продукции едва ли возможно, однако можно установить тенденции этих изменений. Эти тенденции для различных изделий проявляются по-разному, но их влияние равнозначно.

Т.к. желание потребителя и его поведение предопределяют требования к изделиям, можно предположить основные факторы влияния.

еконкретные или быстро изменяющиеся желания потребителя. Этот фактор прогнозировать все труднее, т.к., с одной стороны, потребитель-одиночка не определяет покупательский спрос, однако, с другой стороны, он оказывает влияние на тенденцию покупательского спроса. Часто эту тенденцию приходится отыскивать различными методами исследования рынка, что позволяет своевременно вносить изменения, как в конструкцию, так и в технологию изготовления изделий.

астущее значение дизайна. Дизайн в смысле функционального и одновременно внешнего образа все в большей степени выступает на передний план. Изделие становится выражением "жизненного стиля" и с приобретением

определенного товара корректируется жизненная позиция потребителя.

ндивидуализация изделий.

кологичность. Требования экологичности изделий становятся все более жесткими. Они все в большей степени увязываются с ремонтопригодностью и утилизацией и становятся факторами, определяющими стоимость изделий и спрос на них.

нижающаяся долговечность изделий.

Во всех промышленных областях наблюдается резкое снижение продолжительности "жизни" изделий. Промежуток времени, в течение которого продукция пользуется спросом на рынке и приносит прибыль, по мнению ведущих исследовательских институтов за последние 20 лет, уменьшился примерно вдвое. Различные исследования показывают, что этот процесс продвигается примерно на 5 % в год (см. рис. 2.94)

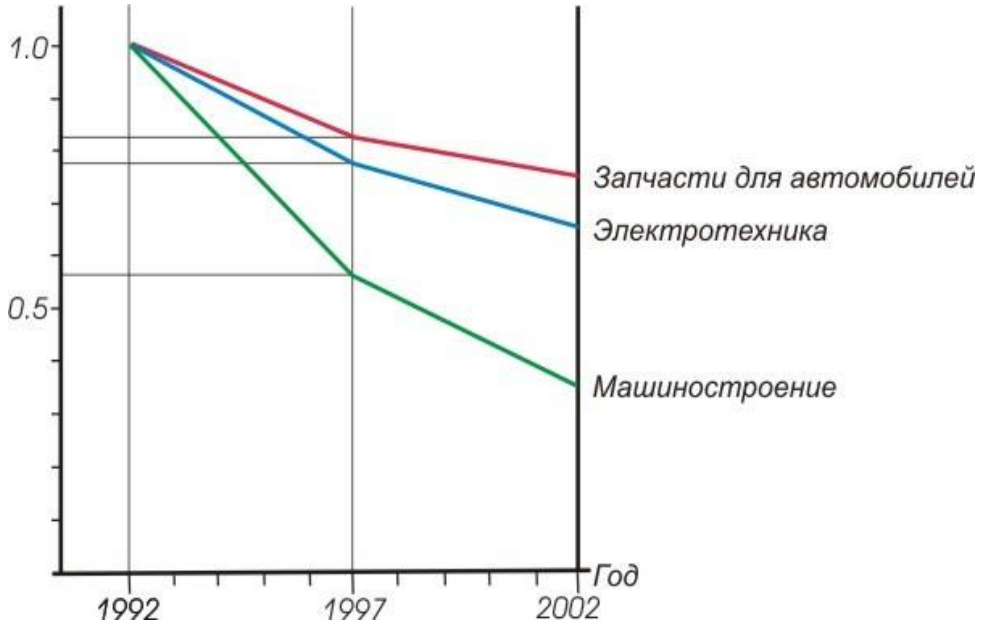


Рис. 2.94. Изменения относительной длительности "жизни" изделия в сравнении с 1992 г для различных областей

Как видно из рисунка, эти тенденции различны для различных отраслей промышленности.

адение цен. Цена все сильнее влияет на решение потребителя о приобретении изделий. Глобальный рынок и предельно расширившиеся коммуникации между континентами, делают возможным сравнение цен в мировом масштабе. Географические ниши не могут быть заняты на длительный срок.

К вышеперечисленным факторам влияния, которые носят характер индивидуальных требований рынка и потребителей, следует добавить изменяющиеся условия в форме стандартов, технических предписаний, методов проектирования и т.д. Например, требования к изделиям на основе национальных и международных норм и мероприятия по качеству и мировому менеджменту, влияют не только на конструкцию и технологию изготовления, но и на требования рынка, которые де-факто могут оказаться труднопреодолимыми барьерами. Кроме того, изделия конкурентоспособные на мировом рынке не

могут больше создаваться без участия специалистов из различных областей знаний. А это требует согласованных действий все большего количества групп людей как в области проектирования, так и в области производства изделий. Нельзя не учитывать и влияние законодательств, социального уровня и наличия природных ресурсов, что предопределяет тенденцию к созданию интернациональных предприятий. Это, в свою очередь, влияет на изменение гарантийных норм. В этом плане прослеживается тенденция к усилению правовых аспектов потребителя, что должен учитывать производитель, в частности, при разработке инструкций по эксплуатации и ремонту изделий. В спорных случаях предпочтение отдается потребителю, и обещанные свойства изделия становятся основой каждого гарантийного процесса.

оследовательность создания изделия

Во всех промышленных областях пытаются ориентироваться на эскизные проработки изделий. Внедряют методы, которые позволяют сделать процесс создания изделий более быстрым и рациональным. Сокращают "склады" всех видов и, тем самым, уменьшают замораживание капитала. Реинжиниринг способствует организации новых структур внутри производств и их взаимозаменяемости между собой, а менеджмент оптимизирует логическую структуру. Всеобщее давление рационализации и обостренные требования к изделиям в последние годы охватили также и проектирование изделий. В этой области уже в 70-х гг. введено конструирование с использованием компьютеров. Но различные компьютерные методы не привели к принципиальным изменениям в стратегии проектирования изделий. По существу, дисплей заменил чертежную доску.

Из описанных выше изменившихся граничных условий вытекают новые дополнительные требования к созданию изделий, но особенно - к проектированию изделий:

- желание покупателя должно обязательно учитываться при проектировании изделий, что может существенно повлиять на цели проектирования;
- окончательный дизайн изделия должен появиться, по возможности, на более ранней стадии его проектирования;
- изделие должно конструктивно строится так, чтобы через индивидуальные формирующие элементы его можно было "подогнать" под потребности различных групп потребителей; для этого не должно требоваться ни новых конструкций, ни отказа от преимуществ массового производства;
- изделие должно быть экологичным и во время его изготовления, и в эксплуатации, и после окончания его использования;
- изделие должно быть востребовано на рынке в максимально возможном количестве внутри относительно короткого жизненного цикла;
- максимальную прибыль можно получить только до тех пор, пока на рынке не появиться конкурирующее изделие, при этом прибыль также должна использоваться для финансирования создания новых изделий;
- национальные и международные нормы и предписания должны

сопровождать процесс проектирования изделий и, таким образом, даже опережать процесс развития изделий;

- должны приниматься во внимание различные технологии, разделенные компетенции и ресурсы, а также то, что различные группы специалистов из многих стран мира говорят в прямом или в переносном смысле на различных языках, следовательно, коммуникации приобретают все возрастающее значение;
- техническая документация и инструкции по эксплуатации должны быть готовы до начала производства и юридически проверены.

В заключение, следует исходить из того, что изделия в будущем станут сложнее и должны проектироваться при участии большего количества групп проектировщиков быстрее, дешевле, лучшего качества и для более короткого жизненного цикла изделия.

Критические факторы успеха и стратегии конкуренции

Под критическими факторами успеха понимают такие факторы, влияние которых имеет тенденцию возрастания и которые, поэтому, можно использовать в качестве меры для оценки успеха предприятия. К таким факторам следует отнести:

- уменьшение времени проектирования;
- снижение затрат;
- повышение гибкости, как изделий, так и технологий;
- улучшение качества изделий.

Эти факторы пока еще не стали обязательными в мировом масштабе, но четко обозначили общую тенденцию развития производств. В настоящее время и, особенно, в будущем предприятия могут использовать следующие стратегии:

- руководство технологией производства - стратегия "пионера";
- управление затратами;
- стратегия дифференцирования;
- стратегия концентрации;
- стратегия опережения.

При стратегии "Пионера" критические факторы успеха "Время" и "Гибкость" стоят на переднем плане, а "Качество" и "Стоимость" - менее важны. При стратегии "Управление затратами" самым важным фактором являются затраты, а все другие факторы успеха отступают на второй план. Стратегия "Дифференцирование" стремиться к однотипному изделию, при этом трудно заменяемому. Поэтому стоимость и время, по сравнению, с качеством и гибкостью играют скорее подчиненную роль. "Концентрация" - не самобытная стратегия и является, по сути, стратегией "Управление затратами" или "Дифференцирование", но направленной на конкретный сегмент рынка. Стратегия "Опережение". Изделия должны появиться на рынке до появления конкурирующих товаров и тогда они могут быть максимально дорогие, вне конкурентные. И, несмотря на высокую стоимость, они распродаются при соответствующих рекламных расходах в короткое время. Если на рынке возникает конкуренция, прибыль понижается до крайне низких значений, и может перерасти в убыток. Это особенно важно для модных товаров. Анализ

показывает, что фактически применяющиеся стратегии часто представляют собой в большей или меньшей степени смесь из различных подходов. Становиться также понятно, что критический фактор успеха - "Время" играет особую роль.

Ключевой фактор - время

В дальнейшем покажем, что все критические величины влияния, но особенно время и стоимость, можно уплотнить до одной целевой величины: "Время рынка". Под временем рынка понимают время от решения проектировать и изготавливать изделие до его появления на рынке. Согласно многочисленным исследованиям при пониженном сроке жизни изделий и при отсутствии какой- либо другой работы, не проводя никаких других мероприятий, можно заработать столько же денег, как и путем минимизации времени рынка. На рис.2.95 представлены результаты исследований влияния различных стратегий на прибыль предприятий.

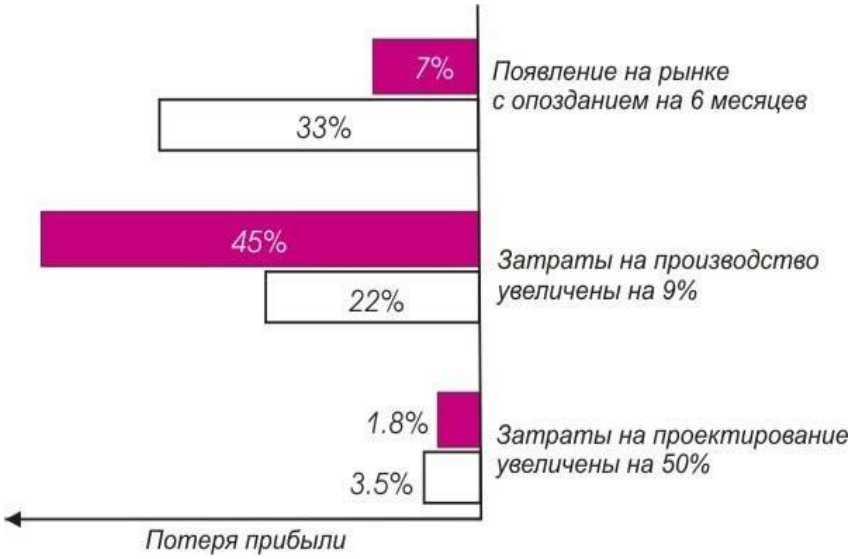


Рис. 2.95. К оценке фактора "Время рынка": влияние различных упущений цели на достигаемую прибыль в зависимости от длительности "жизни" изделия

Светлые полосы на рисунке подтверждают возрастающее влияние фактора "Время рынка" на прибыль предприятия при "продолжительности жизни" изделия до 5 лет по сравнению с 10 годами (темные полосы).

Как видно из рисунка, превышение запланированной бюджетной стоимости проектирования на 50% снижает запланированную прибыль только на 3,5 %, а превышение на 9% стоимости изготовления ведут к 22% потери прибыли. Превышение времени проектирования на 6 месяцев и соответствующее запоздание поступления изделия на рынок уменьшают запланированную прибыль на треть. При длительной «жизни» изделия (темные полосы) "Время рынка" не имеет существенного значения, а на передний план выступает стоимость изготовления. При этом уменьшается значение стоимости проектирования изделий. График также ясно показывает, почему стратегия экономии, особенно экономии стоимости изготовления больше не ведет к успеху, хотя в 80-е гг. такая стратегия еще могла достичь улучшения результата.

Т.о, можно сделать вывод, что стратегия предприятия играет центральную роль при оценке влияний различных факторов. Исследование началось в 1983 г. Сегодня потребительские изделия с продолжительностью "жизни" до 5 лет оцениваются как изделия - долгожители. Мы ранее видели, что продолжительность "жизни" изделия падает, и что эта тенденция продолжается. Отсюда ясно, что фактор влияния - "Время рынка" на этом основании почти для всех изделий становиться все важнее. Эти результаты подтверждаются актуальными исследованиями рынка. При продолжительности "жизни" одного из изделий до 6 лет и, принимая во внимание возможное снижение продаж из-за конкуренции и понижающуюся привлекательность изделий с повышением "возраста", определяют уменьшение прибыли до 30%, которое равнозначно запозданию поступления изделия на рынок на 6 месяцев. Ясно, что 'Время рынка" является ключевым фактором для успеха изделия. Фактор "Время" стал ведущей величиной для руководства предприятия. Это доминанта, типичная для сегодняшних изделий, время – деньги имеет не только абсолютное, но и относительное значение. Необходимо не только найти правильное решение внутри короткого времени проектирования, но еще более важно – найти это решение как можно скорее. Это дает возможность уже на ранней стадии проектирования изделия, когда произведенные затраты еще не велики, установить достаточно точно величину дальнейших расходов. Так, руководствуясь опубликованной диаграммой, можно исходить из того, что после окончания концептуальной фазы проекта израсходовано только около 5% общей стоимости, но уже становится известно примерно 75 % общей стоимости (см. рис. 2.96).

Ход кривой показывает также, что ясность с затратами к началу проектирования изделий еще незначительна. Так после фазы "Идея" только % общей стоимости проекта устанавливается достаточно точно. При этом очень важно не только обязательно найти правильное решение, но и сделать это как можно раньше. Изменения становятся тем дороже, чем позднее они происходят. Как видно из рисунка 2.97, стоимость экспоненциально растет для запоздало обнаруженных изменений в проекте изделия с процессом его проектирования.

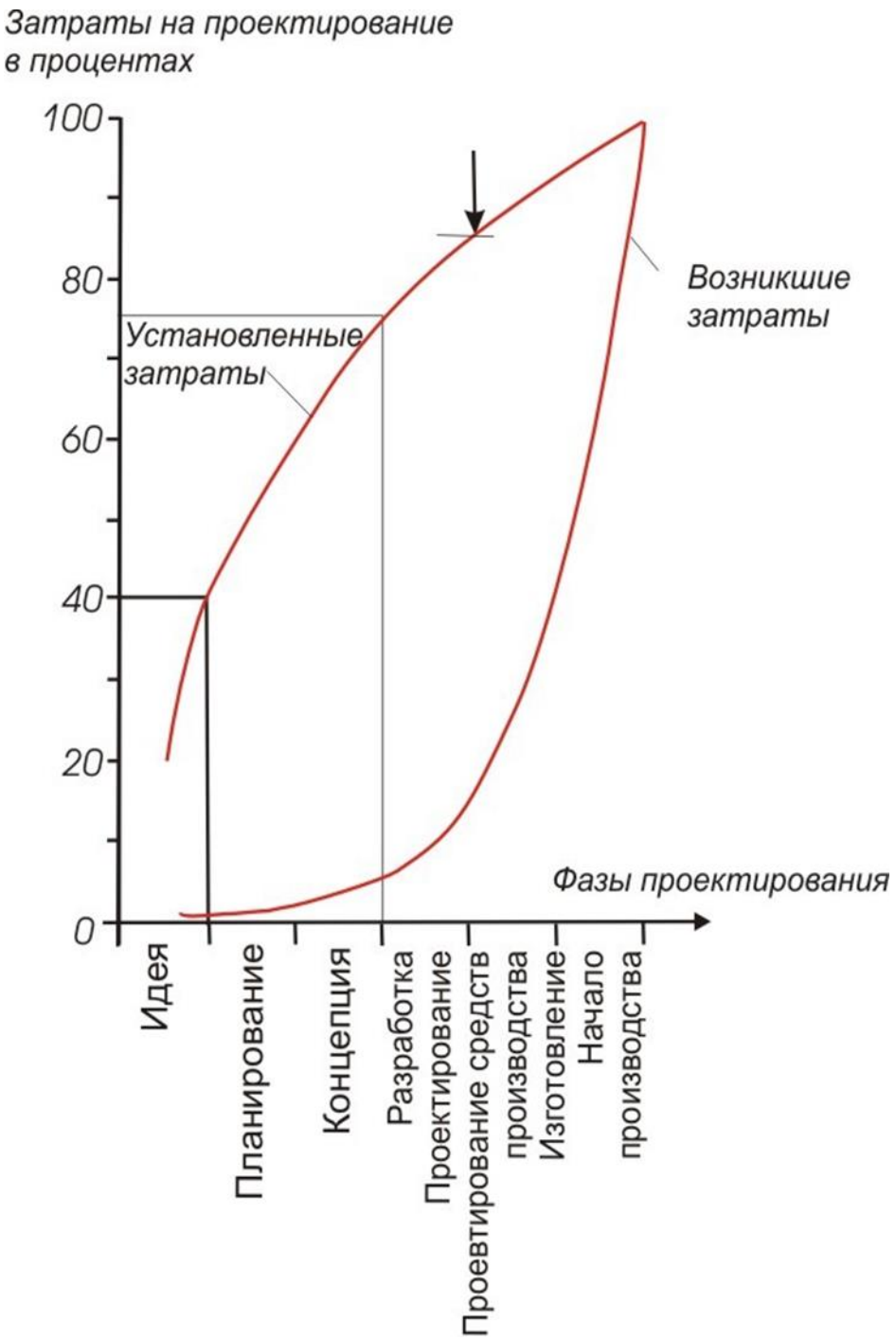


Рис. 2.96. Сравнение фиксированной общей стоимости изделия с произведенными затратами в процессе проектирования

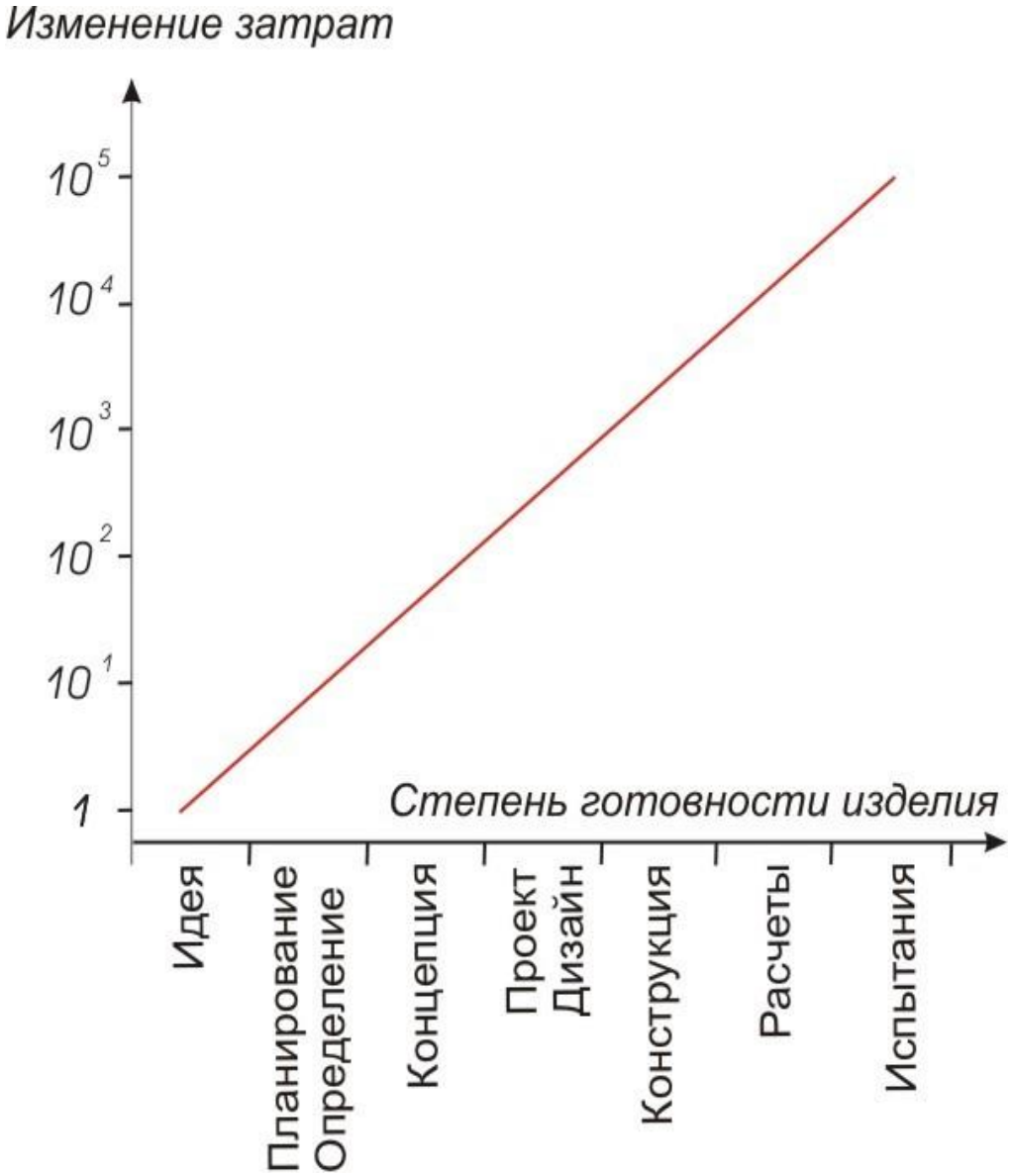


Рис. 2.97. Расходы на аналогичные изменения проекта изделия в зависимости от стадии его проектирования

В логарифмическом масштабе эта зависимость выглядит как прямая линия. Подчеркнем, что речь идет об аналогичных изменениях, но выполняемых на разных стадиях проектирования. Из этого следует не только то, что изменения конструкции с продвижением проектирования изделия дороги и расточительны по времени, но также и то, что слишком поздно обнаруженный недостаток изделий может вызвать расходы, опасные для его существования. Очевидно, что ведущей величиной для оптимизации общей прибыли является минимизация времени проектирования, а расходы следует рассматривать как переменную, зависящую от времени. Во времена, в которые все направлено на снижение затрат, это одно из важнейших соображений.

Одновременное проектирование - конкурентоспособное проектирование. Классические ступени проектирования изделий.

Время возникновения изделия - время от первой идеи нового изделия до старта серийного производства (см. рис. 2.98). Оно включает и технологию

изготовления.

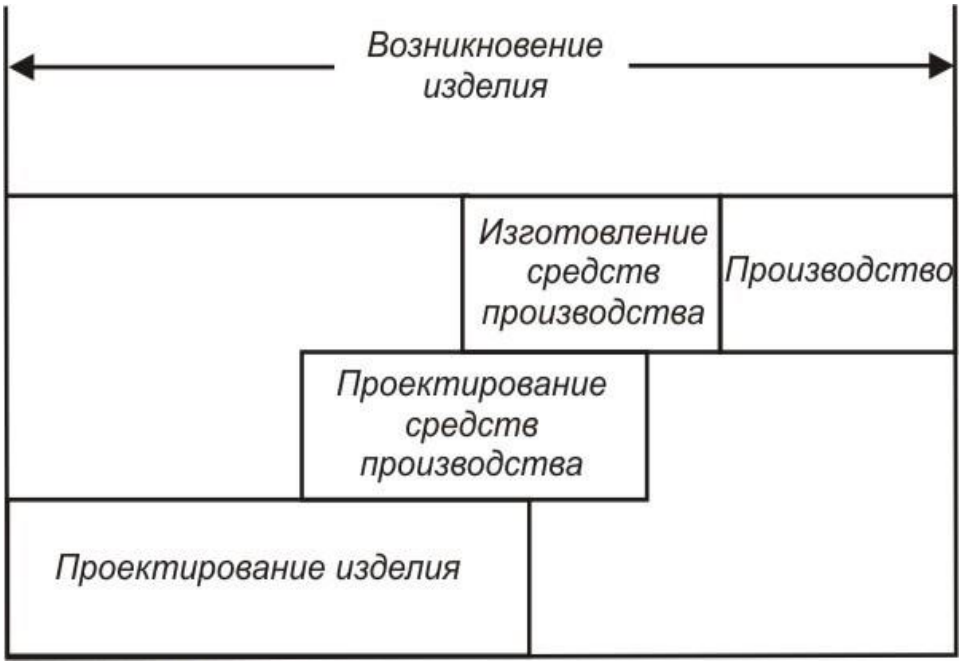


Рис.2.98. Элементарные ступени создания изделия

Возникновение идеи, планирование, концепция могут считаться проектированием изделия или рассматриваться как обособленные элементы. В зависимости от определения, проектирование изделия охватывает не только собственно проектирование изделия, но и проектирование инструментов, необходимых для изготовления изделия, и даже проектирование средств производства, и их изготовление. Такое различие определений следует иметь в виду, если сравниваются времена проектирования изделий на различных предприятиях.

Проектирование изделия и проектирование средств производства методически почти совпадают, поэтому проектирование средств производства следует понимать только как специальный вид проектирования изделия. В дальнейшем, поэтому, в понятие "проектирование изделия" будем вводить методические добавления.

Различные авторы процесс проектирования разделяют на различные шаги и неодинаково их обозначают. При этом имеют место отраслевые особенности. Одна из распространенных последовательностей проектирования выглядит так: идея, планирование/определение, концепция, проектирование/разработка, испытания. Основное содержание этих этапов:

- идея: основная концепция, существенные свойства;
- планирование/определение: определение постановки задачи, установление функций, подготовка методов решения;
- концепция: оценка, определение цели;
- проектирование/разработка: проектирование/дизайн, конструирование, расчет, грубое и тонкое оформление, расчеты, оценка;
- испытания: проверка, изготовление, доказательства правильности

решений.

При этом идея в дальнейшем должна также предопределять основную концепцию и установление существенных свойств будущего изделия. На этой фазе, но особенно, в последующих фазах Планирование/Определение и Концепция устанавливаются функциональные свойства, основные конструктивные принципы и, тем самым, предполагаются также методы изготовления и уточняются цели. В этих фазах встречаются решения, которые устанавливают ресурсы и методы, а значит стоимости на ранней стадии и изменения, которые не допустимы или возможны только при больших затратах. Из фазы Концепция следует первая редакция затрат. Следующая фаза Проектирование/Разработка имеет целью оптимально трансформировать это предположение. Все эти взаимосвязи представлены на рис. 2.99, который не нуждается в дополнительных комментариях.

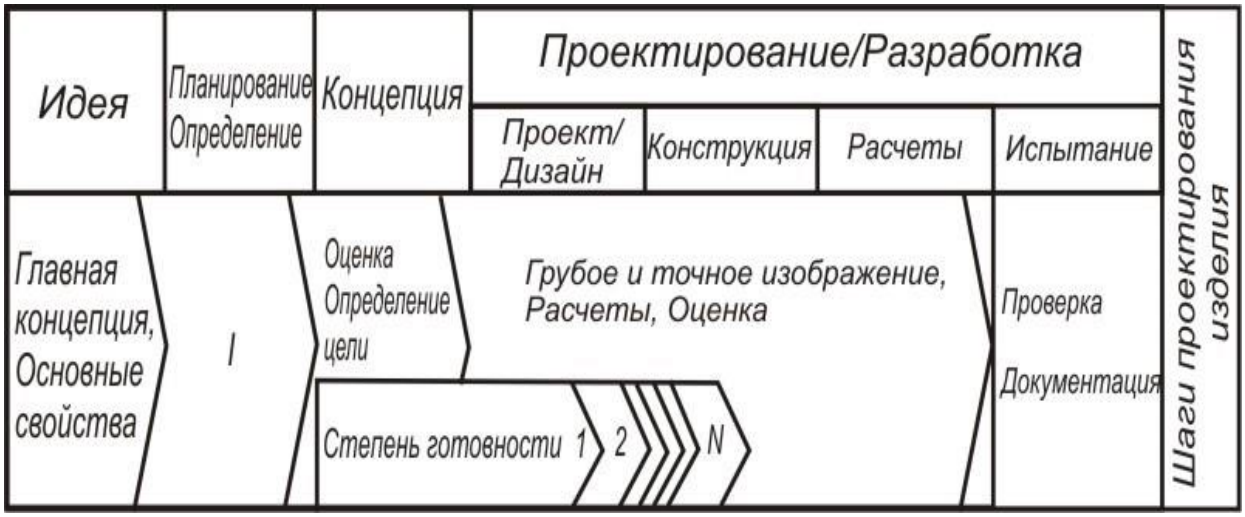


Рис.2.99. Определение классических шагов проектирования,

где I - постановка задачи, установление функций, подготовка вариантов решения.

Требования к новым методам проектирования изделий

Центральное требование к новым стратегиям состоит в том, что время проектирования изделия при уменьшении финансирования и улучшении качества должно сокращаться и к этому должны приобщаться большие коллективы проектировщиков из различных областей техники и знаний. Для выполнения этих требований должны быть выявлены важнейшие факторы, влияющие на время проектирования изделий. Время проектирования изделий зависит от:

- своевременного установления свойств конструкции;
- степени параллелизации составляющих процесса;
- интенсивности обмена информацией;
- степени интеграции компьютеров;
- степени мотивации.

Для успеха проектирования изделия важно как можно раньше установить взаимосвязанные свойства изделия. Каждый конструктор и каждая группа

работников должны ориентироваться на ясные цели. Ошибочные цели приводят к тому, что каждая рабочая группа рассматривает свои конструктивные признаки как главные и такие неоднородные конструкции приходится согласовывать позднее с большими затратами. Из своевременного установления конструктивных признаков изделия следует и своевременное установление материалов и технологических методов изготовления.

Для сокращения времени проектирования изделия, безусловно, необходимо выбирать максимальную степень параллелизации. Т.к. параллелизация является дискретным процессом, который позволяет определить разумное параллельное разветвление только после окончания соответствующей части проекта, следует предавать повышенное значение организации и контролю над общим проектом. При этом следует обращать внимание на то, что можно параллельно проводить только такие части проекта, для которых время разработки протекает полностью независимо друг от друга.

Эффективное проектирование изделия протекает при интенсивном обмене информацией. При этом важно не только то, чтобы отдельные рабочие группы обменивались информацией, но также важно, в каком виде и в какой временной период они это предпринимают. Только если информация своевременна, она полезна для проекта.

Компьютерная интеграция образует "хребет" для интенсивного обмена информацией. Только через высокую степень компьютерной интеграции можно обеспечить подход всех раздельных рабочих групп к каждому моменту времени на одинаковых, связанных базовых показателях. Результаты этих групп непосредственно можно закладывать в память компьютера в виде взаимосвязанных файлов. При сложных и актуальных проектах изделий эти аспекты можно осуществить только на компьютерах и с использованием соответствующих программ.

Коллективная работа успешна и эффективна только в том случае, если она идет в ногу с высокой степенью мотивации. Не мотивированные сотрудники всегда используют групповую работу для того, чтобы спрятаться в группе и сделать других ответственными за результаты работы. Поэтому мотивация для минимизации времени проектирования является ключевой позицией. Наряду с различными подходами для мотивации сотрудников, особо стоит вопрос оценки реализуемости проекта, которая решается через мотивацию и демотивацию.

Принцип одновременности инжиниринга

Требования к более эффективным системам проектирования изделий сводится к двум главным точкам зрения: концентрация и коммуникация. Выражаясь иначе, требуется:

- высокая степень параллелизации последовательных до настоящего времени шагов проектирования;
- постоянно для всех доступные полные и связанные базы данных.

Соответственно новые стратегии проектирования известны под названием "одновременный инжиниринг" или "параллельный инжиниринг". Принцип"одновременный инжиниринг" схематически показан на рисунке 2.100.

Верхняя схема показывает классическую последовательную цепочку проектирования, по которой каждая ступень проектирования может начаться только тогда, когда предыдущая закончена. Главная мысль одновременного инжиниринга состоит в частичном запараллеливании этих последовательно отработанных шагов проектирования и в исключении затрат времени на дорогостоящие повторения.

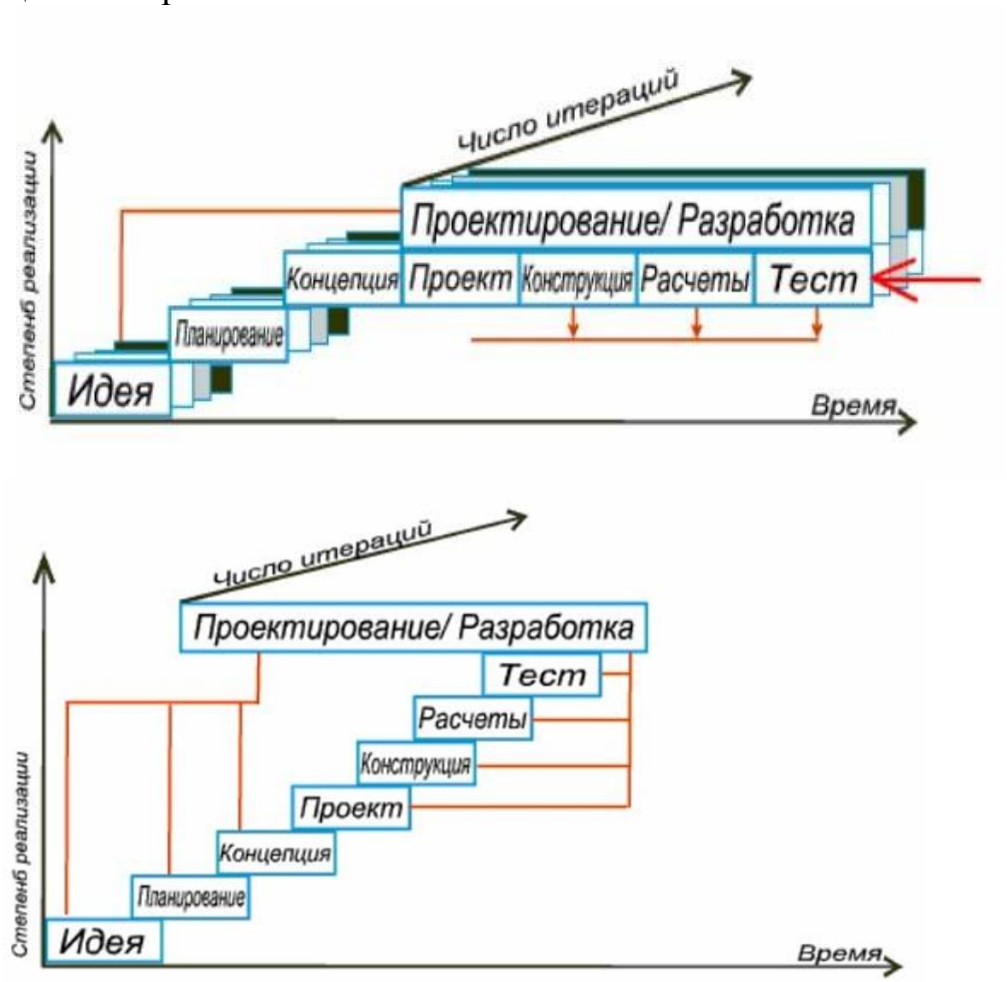


Рис.2.100. Экономия времени проектирования изделия за счет более высокой степени параллелизации

В то время как последовательно работающие методы должны происходить принципиально последовательно, потому что они позволяют переделку только уже законченных частей проекта, одновременный инжиниринг делает возможным эффективную параллельную или, по меньшей мере, частично запараллеленую разработку.

Чтобы параллелизация могла происходить практически, должен иметь место постоянный и оптимальный обмен информацией между всеми партнерами. Поэтому необходимой предпосылкой является для всех доступная и постоянно актуальная общая база данных. Важнейшим элементом при этом является менеджмент проекта, поддержанный координированным управлением. Для учета и организации интердисциплинарных партнеров развиваются новые формы совместной работы. В качестве примера можно назвать компьютерные

промежуточные коммуникации или систему компьютерной поддержки кооперативной работы.

Модели

Измененные требования к изделиям и, тем самым, к проектированию изделий выливается в новые стратегии проектирования изделий.

Наблюдения показывают, что с использованием новой стратегии проектирования изделия очень важно начинать именно с модели.

Применяются понятия и определения, прижившиеся в классическом проектировании изделия.

Классификация моделей

В соответствие со степенью продвижения проектирования изделия различны и требования к моделям. Независимо от вопроса, как эти модели изготавливают, целесообразно объединить определения моделей и этим упорядочит шаги проектирования изделия.

В иностранной литературе по данному вопросу появилось большое количество различных понятий и предложений для классификации моделей. Обычно они штампуются для рыночных особенностей и, часто, однобоко ориентируются на методы RP - технологий. Представим одну из наиболее распространенных классификаций моделей.

Модель - пропорция

Она показывает внешние формы и важнейшие пропорции. Служит коммуникации и мотивации, способствует быстрым заменам запрограммированных свойств изделия, дает возможность быстро согласовывать вопросы по идее изделия. Она должна быстро, просто и дешево изготавливаться. Очень важны два свойства: простота и восстанавливаемость. Степень абстракции - высокая; степень детализации - низкая; функциональность - никакая.

Эргономическая модель

Она способствует быстрым решениям о возможности ответить на вопрос можно ли и нужно ли проектировать изделие. Выявляет используемость важнейших деталей, а также важнейшие функции деталей. Степень абстракции - средняя; степень детализации - средняя; функциональность - единичные функции.

Дизайн - модель

Внешне она соответствует, возможно, более полно серийному образцу. Отделка поверхностей соответствует качеству для выставочного образца. Поддерживает быстрые решения о методах проектирования и изготовления. Делает возможным своевременное подключение мнения третьего лица. Степень абстракции - низкая; степень детализации - частично высокая; функциональность - единичная.

Функциональная модель

Она обеспечивает возможность проводить своевременные испытания - проверки отдельных функций (возможность сборки, обслуживаемость, кинематика). Показывает отдельные или все важнейшие функции даже при

отказе на воспроизведение внешних форм. Создает базу для запросов от покупателей и поставщиков. Определяет граничные условия для создания форм конструкции и инструментов, для конструирования и изготовления средств производства. Степень абстракции - низкая; степень детализации - высокая; функциональность - значительная.

Прототип

Он значительно соответствует серийному образцу, иногда даже полностью. Отличается от серийного изделия только методом изготовления. Делает возможным своевременные испытания отдельных (или всех) свойств изделий (собираемость, проведение специальных методов согласования), а также изготовление инструмента. Позволяет подготовить выход изделия на рынок через рекламу. Степень абстракции - низкая; степень детализации - высокая; функциональность - полная.

Образец

Он происходит уже из серии, в конкретном случае из пилотной, нулевой, предварительной или даже главной. Делает возможным полное тестирование всех свойств изделия. Поддерживает обучение технологического и сервисного персонала, освоение серийной технологии, делает возможным сопоставление технологических и сборочных процессов. Поддерживает точное согласование с потребителями и поставщиками. Степень абстракции - никакая; степень детализации - высокая; функциональности - все.

Заслуживает внимание и другая классификация изделий.

Концептуальные модели

Они позволяют визуализацию пропорций и принципиального внешнего вида. Они обозначаются также как демонстрационные модели или модели контроля данных.

Геометрические прототипы

Они служат для проверки эксплуатации, обслуживания и использования, а также для визуализации точных форм, включая желательное качество поверхности.

Функциональные прототипы

Они дают возможность проводить испытания одного или многих функциональных свойств.

Технические прототипы

Они значительно соответствуют серийным образцам и изготавливаются на технологических установках. Возможны отклонения в материалах и геометрические упрощения. Отличаются от серийных изделий только технологией изготовления.

В то время как значимость и обозначения функциональной модели, прототипа и образца среди инженеров быстро достигли понимания, классификация на модели-пропорции, эргономические модели и дизайн - модели не встретили понимания, и значимость этих моделей вообще часто вызывает сомнение. Во- первых, если модель-пропорция ведет к принципиальным решениям для идеи изделия и это конкретизируется

посредством эргономической и дизайн - модели, то функциональные модели и прототипы используются для более быстрого и эффективного проектирования изделия. С их помощью можно быстро и надежно проверить особые геометрические и кинематические свойства и корректировать их в соответствие с требованиями к механико- технологическим свойствам изделия и с возможностями технологии изготовления.

Влияние моделей на ускорение процесса проектирования изделий

Рассмотрим, почему модели необходимы для дальнейшего сокращения времени проектирования изделия, и какое влияние они оказывают на ускорение этого процесса.

Рис.2.101 показывает принципиальный ход создания изделия во времени. При последовательном проектировании, процесс можно представить в форме функции замедления первого порядка (рис. 2.100 кривая "a"), хотя изделие создается не непрерывно, а по мере окончания частей задания и поэтому логичнее это представить в форме лесенки и, к тому же, при переделке отдельных частей проекта готовность изделия может замедляться.

Сокращение времени проектирования изделия изменяет характер кривой его «созревания» на более крутой (рис.2.102 кривая "b")

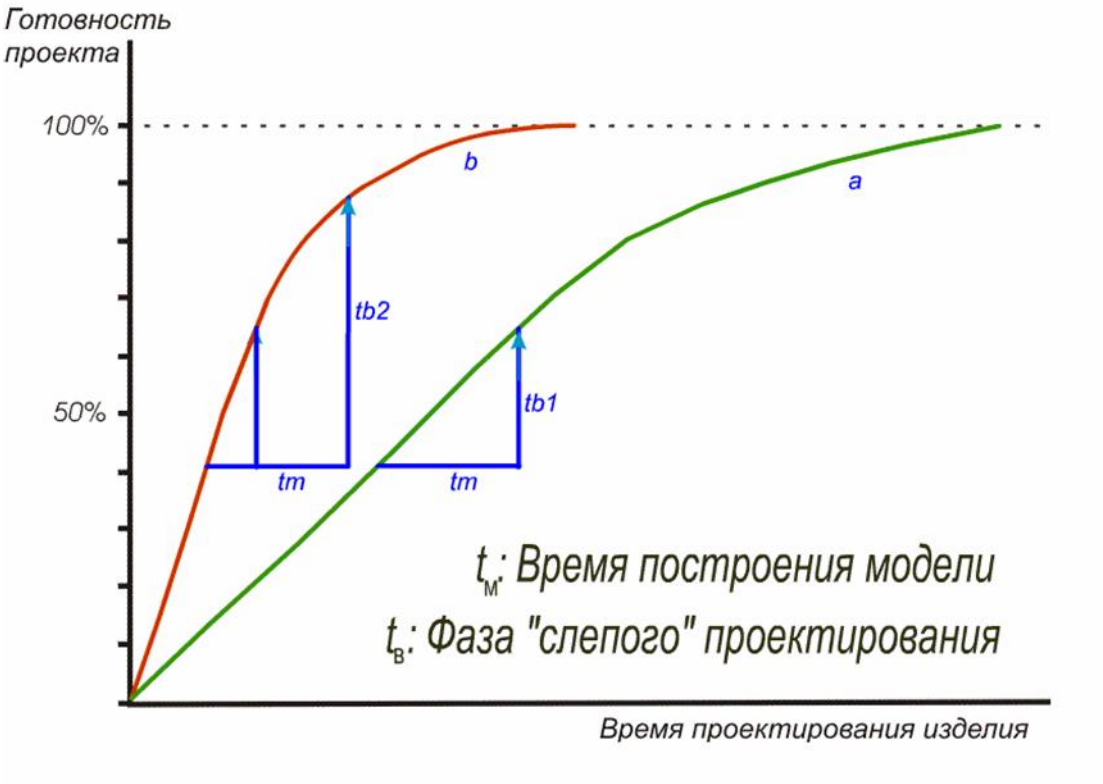


Рис.2.102. Влияние времени создания модели t_M на фазу проекта в зависимости от времени проектирования изделия

Далее, рассмотрев длительность изготовления модели или прототипа $t_м$, мы узнаем, что от момента времени поручения изготовления модели до окончания его проектирования, изделие "слепое", т.е. без проверки достигнутого качества проекта (фаза "слепого" проектирования t_B).

При неизменном времени изготовления модели с более коротким

временем проектирования изделия все больший отрезок времени проектирования изделия будет охватываться "слепым" проектированием (tB1->tB2). Принципиальные взаимосвязи ясно показывают, что, в проектировании изделия есть следующая закономерность - влияние расходов на процесс проектирования возрастающей степенью "созревания" изделия снижается, в то время как возможность точности оценки расходов становится все лучше. Проектировщик устанавливает размер будущих затрат к началу проектирования изделия, т.е. тогда, когда он еще не в состоянии реально оценить эти затраты. По мере того, как в течение проектирования изделия можно в лучшей степени оценить затраты, снижаются возможности их соответствующим образом изменить. Следовательно, нужно искать методы, которые сдвигают течение кривой "оценка затрат" за пределы кривой "влияние затрат". Это полностью не реализуемое требование частично реализуется путем использования моделей в процессе проектирования изделия. Модели позволяют сдвигать налево точку пересечения кривых, т.е. в сторону более ранних стадий проектирования изделия. На рисунке 2.103 в классическом представлении показано влияние моделей на оценку затрат. Путем введения моделей все расходы можно оценить раньше. Обсуждавшиеся ранее условия успешного проектирования изделий выполняются лучше, если создание изделия поддерживается моделями и прототипами. Подводя итоги после классификации моделей, получаем их следующее положительное влияние. Объединенные соглашения между маркетингом, проектированием и руководством торговли поддерживаются "концептуальными" моделями, которые обычно обозначают как модели "показ и действие". Это утверждение имеет силу даже в том случае, если эти модели довольно грубы и позволяют распознавать только принципиальные внешние формы. Модели имеют еще большее значение в том случае, когда предложения проектировщика, которые представляются в форме технических чертежей, маркетингом и продавцами не понимаются или понимаются не полностью. Физическая модель в оригинальном масштабе упрощает оценку относительно дизайна и геометрии. Снижающееся время эксплуатации, растущее давление цены и требование совместной интердисциплинарной работы приводят к проблеме укороченного времени проектирования изделия и быстрых коммуникаций. Модели и прототипы улучшают также качество коммуникаций. Специалисты различных дисциплин могут с помощью моделей рассматривать актуальные состояния проекта под их специфическими аспектами и своевременно вносить изменения. Т.к., например, для конструктора и технолога существенное значение имеют различные факторы, эти группы моделей обозначают как функциональные прототипы, потому что с их помощью могут быть испытаны отдельные функциональные свойства. Вопросы выполнения многочисленных локальных норм и предписаний ведут к общей проблеме сертификации испытаний и регистрации. Эти процедуры могут быть ускорены и оптимизированы тем, что соответствующие, подлежащие проверке свойства, будут представлены эталонов специальными проверочными государственными органами в режиме, сопровождающем проектирование (технические прототипы

или образцы). Требование к экологичности выражаются в вопросах возможности переработки отходов и упаковки и надежности. С помощью моделей, например, можно своевременно провести попытку демонтажа или оптимизировать упаковку с точки зрения безопасности для окружающей среды. Для этого также необходимы технические прототипы или образцы. Модели, тем самым, являются важнейшим вспомогательным средством, оказывающим позитивное влияние на коммуникации внутри группы проектировщиков и между различными группами проектировщиков. Модели помогают своевременно выявлять ошибки и проверять общую концепцию.

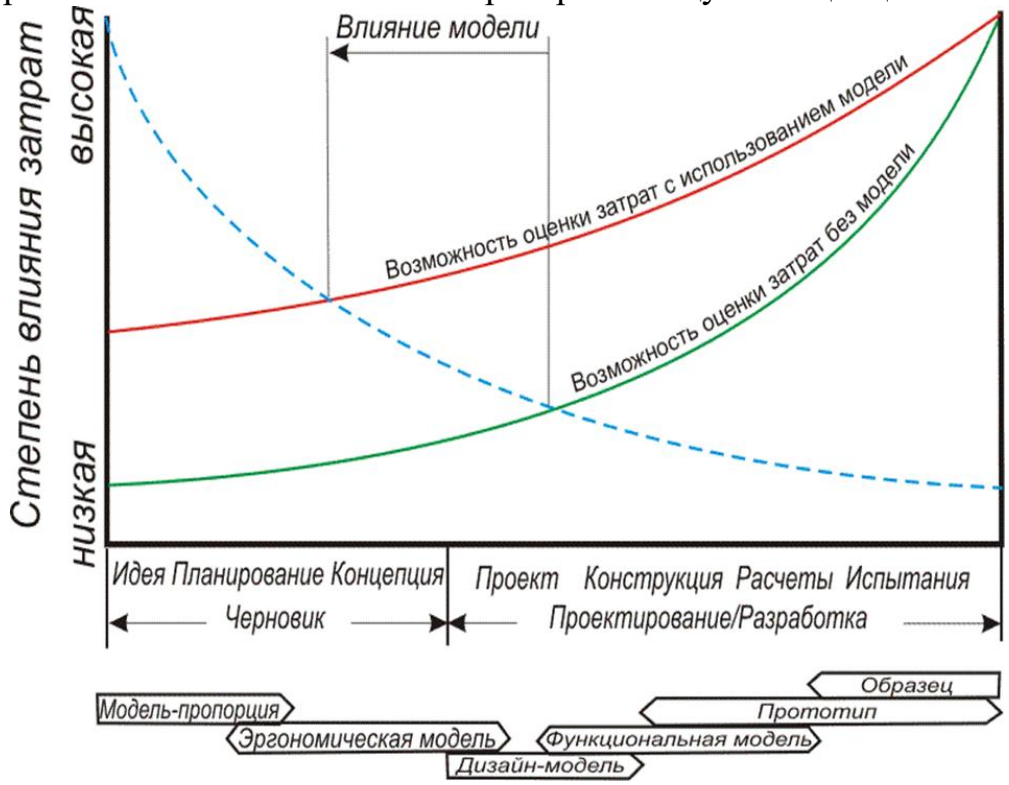


Рис. 2.103. Оценка затрат и влияние затрат как функции стадий проектирования изделия

Мотивация через модели

Из-за увеличивающейся все время сложности изделий нельзя больше приходить на завод только с изделием, давно завоевавшим доверие и с конструктором, убежденным в своей удаче. В сообществе проектировщиков должны быть также чуждые для данной отрасли специалисты, которые не имеют глубоких знаний об изделии. Они должны объединяться вокруг проекта и должны быть мотивированы, т.е. заинтересованы в общем успехе.

Под мотивацией понимают усилие, направленное на изделие, которое должно быть спроектировано. Как может мотивация оказывать положительное влияние? Для примера, определим градиент привлекательности α (рис.2.104). Он определяется через дистанцию до серийной продукции.

Взаимосвязи представлены на рис.2.104 Вероятность достижения цели представлены через степень реализации.

Дистанция до серийного изделия характеризуется через отдельные шаги проектирования изделия. Из этого представления ясно, что к повышению градиента привлекательности ведет только повышение степени реализации проекта.

В примере из рис.2.104 видно, что до такой степени готовности как эскиз и меньших степеней готовности порог мотивации, обозначаемый α_m не может быть преодолен, $\alpha_1 < \alpha_m$

Несмотря на все еще большую дистанцию до реализации изделия через повышение степени реализации на основе представления через простую трехмерную модель вместо эскиза, градиент привлекательности α_2 отчетливо повышается и, в нашем случае, поднимается выше порога мотивации α_m. Решающим является то, что через постепенное приближение к цели в ходе процесса проектирования при одновременном постоянном повышении степени реализации через дифференцированные модели, градиент привлекательности постоянно и сверхпропорционально растет. Тем самым, мотивация в процессе проектирования постоянно усиливается ($\alpha_5 > \alpha_4 > \alpha_3 > \alpha_2$). Этот важный вклад моделей для успешного выполнения совместного проекта, который особенно важен на ранней стадии, часто оценивается недостаточно.

Эти взаимосвязи наглядно показывают, что трехмерные модели вызывают несомненную пользу. Они подтверждают также важность наглядных и дизайн - моделей.

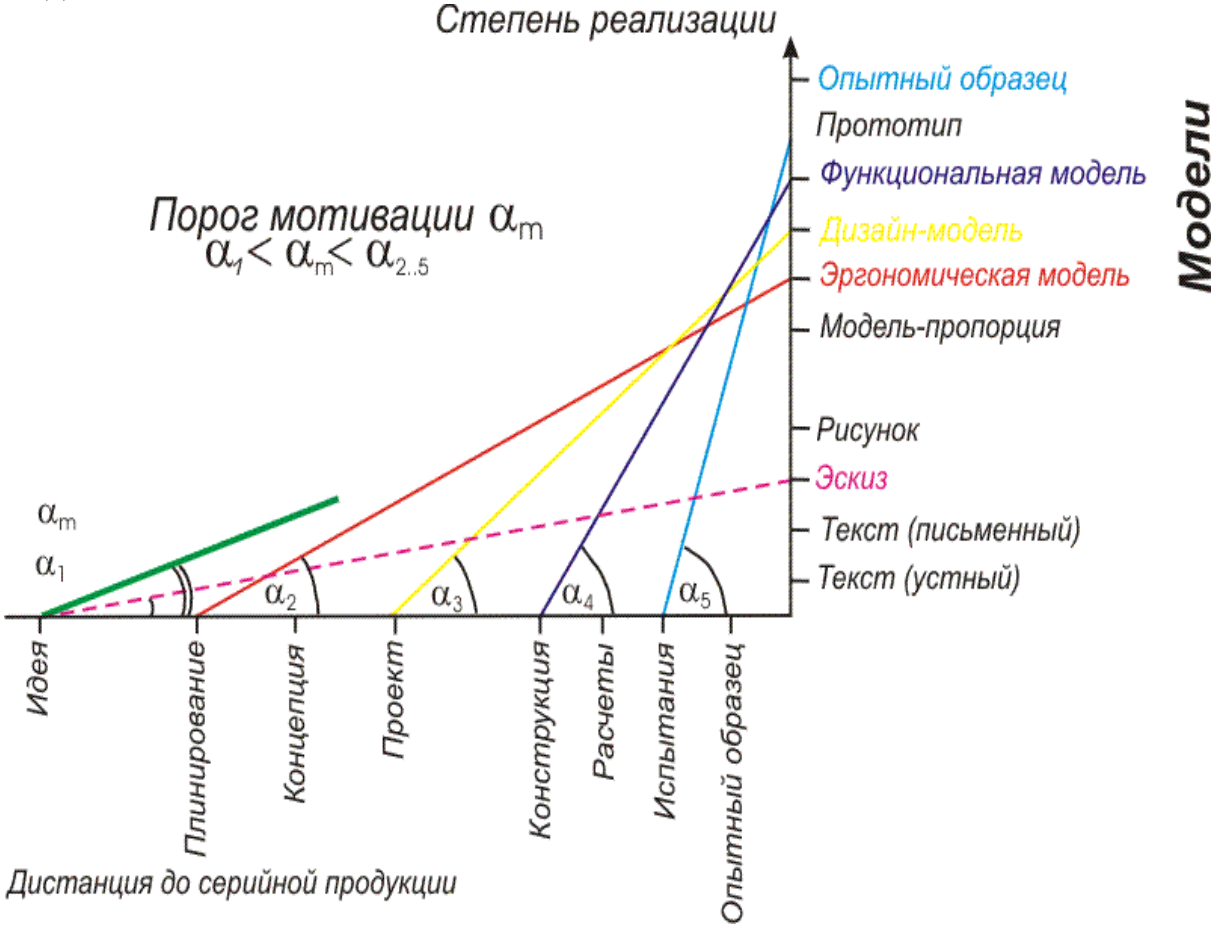


Рис.2.104. Повышение мотивации как функция степени реализации и дистанции до серийного производства

На ранних стадиях проекта имеющиеся в распоряжении наглядные модели, которые быстро совершенствуются и усложняются, и максимально быстро демонстрируют взаимодействие узлов, создают не только высокую начальную мотивацию, но и годятся уже в начальной фазе проекта для того, чтобы создавать позитивный и постепенно растущий градиент привлекательности.

оздание моделей с помощью RP - технологий, как элемент одновременного инжиниринга

Ранее отмечено значение моделей для более быстрого и эффективного возникновения изделия. При этом не играет никакой роли, каким образом эти модели создаются. В дальнейшем рассмотрим, какая характеристика RP - моделей наиболее важны и почему модели, изготовленные тем или иным методом особенно подходящие, эффективно поддерживают стратегии для быстрого прототипирования и создания изделия.

RP - модели как гарантия обязательной базы данных

В классической цепи проектирования отсутствует существенный элемент для претворения в жизнь одновременного инжиниринга: принятые и постоянные для всех доступные обязательные базы данных не могут существовать, пока создание моделей выполняется вручную или в частично вручную.

Традиционный процесс изготовления моделей основывается именно на базе данных в форме 2D - чертежей по всем правилам геометрии в ходе изготовления модели. Поэтому в процессе изготовления модели не существует никакой обязательной базы данных, на которую могли бы ориентироваться другие члены команды. В течение изготовления модели, вследствие этого, не может осуществляться одновременный инжиниринг.

При RP - методах полная 3D геометрическая информация разделяется из CAD в послойную информацию, и эти слои непосредственно строятся компьютером. RP - методы строят трехмерные модели, следовательно, только на базе трехмерных CAD - компьютерных данных. Они изображают данные, следующие из CAD - проекта исключительно трехмерно, без их изменения.

Эту информацию в качестве базы данных, обязательную для всех, сохраняют также во время процесса изготовления модели. Таким образом, RP - методы замыкают звенья цепи CIM (Computer Intergrated Manufacturing - Компьютерное интегрированное производство) и создают основу для реализации как CIM - стратегий, так и интегрированных в них методов одновременного инжиниринга.

Рисунок 7.54 показывает связи между отдельными шагами возникновения изделия от идеи к изделию, которые ради наглядности расположены последовательно. Показана петля последовательного проектирования изделия (рис. 2.105 слева) и петля одновременного инжиниринга с использованием RP (рис. 2.105 справа), CAx - компоненты. Отчетливо видно, как последовательное

построение модели прерывает течение данных и, следовательно, не допускает создания замкнутой CIM - структуры. В противоположность этому, при введении RP - техники в одновременный инжиниринг, узнается замкнутая структура данных, которая позволяет получить необходимый набор данных в любое время и любому участнику процесса проектирования изделия. Становиться также ясно, что в противоположность к классическому изготовлению модели, RP - методы применимы не к одной (или более) фазе изготовления модели, а могут вводиться в действие на любом месте процесса возникновения изделия.

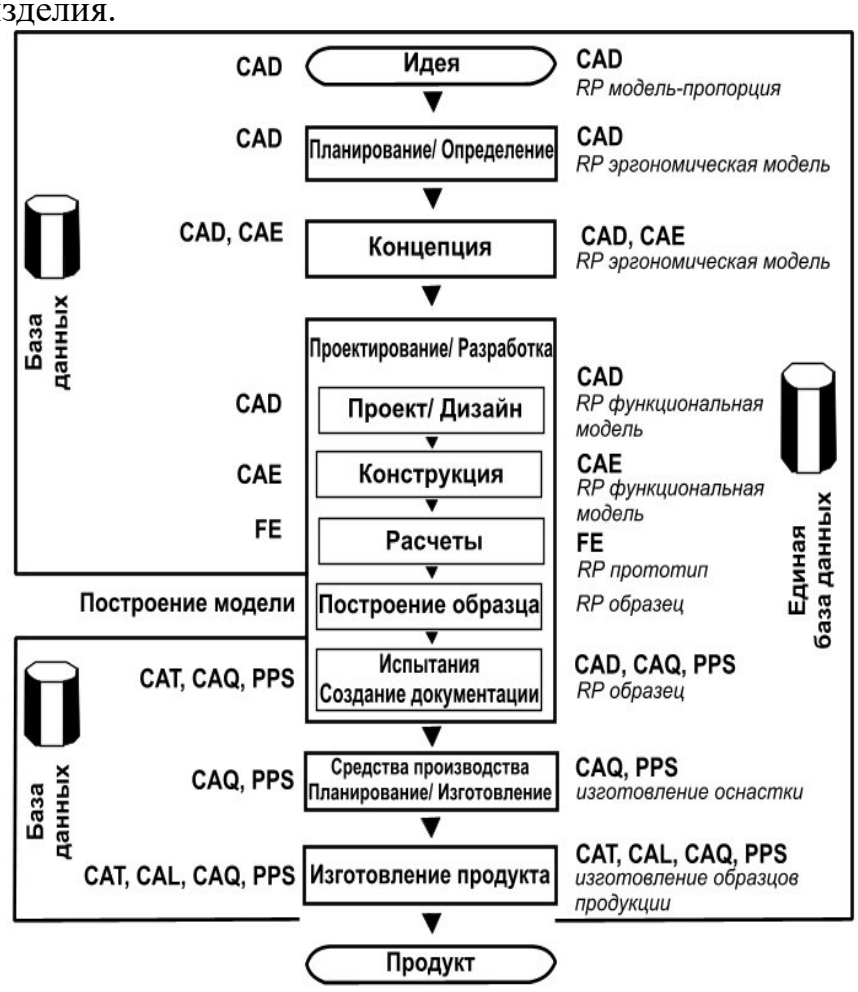


Рис.2.105. Частично закрытая CIM - цепочка (слева) и при введении RP - способов полностью закрытая CIM - цепочка (справа)

пределения: быстрое прототипирование, быстрое изготовление, быстрое производство

Все методы, с помощью которых трехмерные модели и детали изготавливаются сложением, т.е. наложением друг на друга объемных элементов (слоев), называются генерированными технологиями. Это точное вышеприведенное понятие на практике применяется редко. Чаще используются

другие обозначения, которые подчеркивают отдельные аспекты изготовления деталей. Solid Freeform Manufacturing – SFM (производство твердых тел свободной формы) подчеркивает способность путем поверхностей свободных форм изготавливать окаймленные твердые тела.

В литературе находится большое количество таких изначально американских обозначений, которые выступают чаще всего в образе трехбуквенных сокращений и часто могут скорее исказить, чем объяснить суть процесса или явления.

Каждое используемое понятие с точки зрения современных авторов имеет право на существование и не может быть заменено никакими другими понятиями. Однако в данном случае мы сознательно применяем понятие RP. Оно действительно не лучшее, возможно даже худшее понятие из тех, что используются в литературе. RP при ближайшем рассмотрении вообще ни о чем не говорит. "Быстрый" - понятие относительное. Оно приобретает качество лишь в том случае, если говорится конкретно "быстрее, чем что" или, по меньшей мере, "как быстро". К тому же в понятии "быстрый" лежит известная опасность. Оно может означать, что метод является принципиально быстрее, чем все остальные, но, в действительности, это не так. Быстрота RP - методов сильно зависит от геометрии изделий. Например, простейшее изделие, которое можно изготовить штамповкой - вырубкой, с помощью RP - технологий изготавливаются гораздо медленнее. "Прототипирование", также не является точным понятием, т.к., многие применения компьютер поддерживающих методов изготовления не предполагают использования прототипа в узком смысле. Наряду с дизайн - моделями и моделями для демонстрации, с помощью RP - технологий можно получать литейные формы, инструменты, и даже малые серии изделий. Но понятие "Rapid Prptotyping" имеет неоспоримое преимущество - оно укоренилось в сознании людей и означает для них символ компьютер поддержанных и, следовательно, автоматизированных генерированных технологий. RP и первая технология - Стереолитография в этой комбинации всемирно известна. Они говорят сами за себя и, тем самым, предопределяют сущность понятия.

В сравнении с этим, альтернативные понятия и обозначения для современных пользователей требуют дополнительного разъяснения, а потому, менее приемлемы.

Rapid Tooling (RT) и Rapid Manufacturing (RM) - более узкие понятия, чем RP и обозначают специальные области применения этих технологий. Методически RP обозначает учение о генерированных методах изготовления и соответствует, тем самым, RP - технологиям. Но очень важно разъяснить, что применение разных RP - технологий требует разработки различных методических приемов. Это практически значит, что концептуальные модели и геометрические прототипы (Concept Modeling) как и функциональные и технические прототипы (Functional Prototyping) с одной стороны и генерированное изготовление инструментов (Rapid Tooling) и генерированные серийные технологии (Rapid Manufacturing) с другой стороны, независимо от их

практического значения, имеют статус стратегии (рис. 2.106).

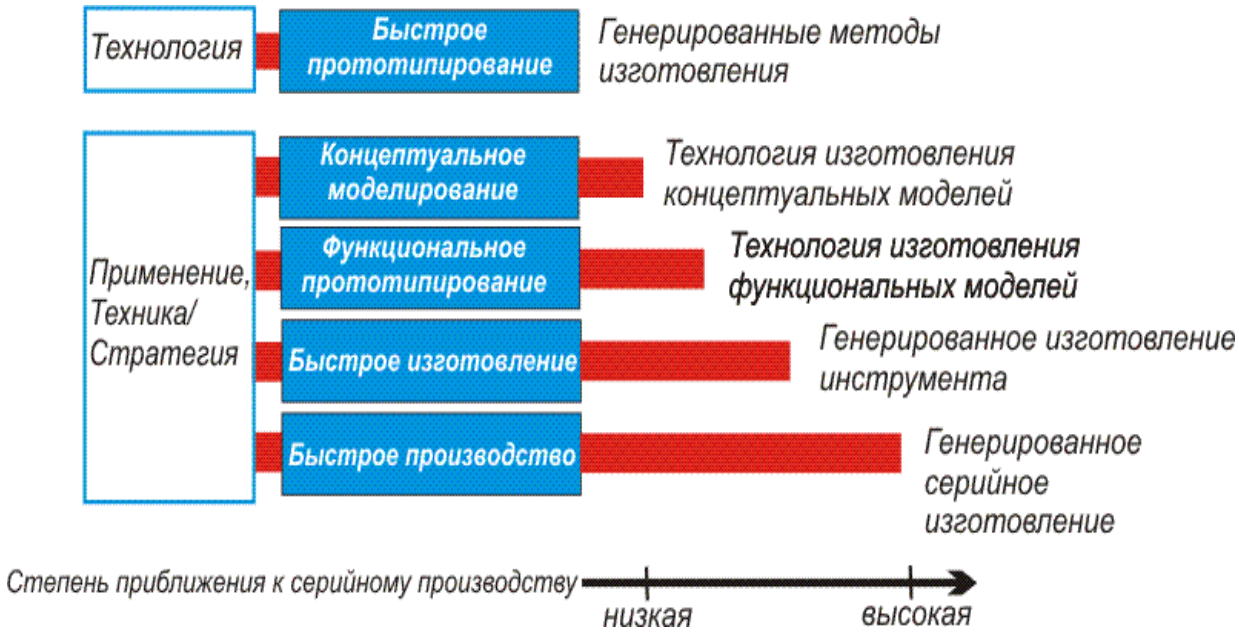


Рис.2.106. RP - технологии и их применение

Если следовать этой терминологии, то получаются такие определения:

- Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping) - обозначает технологию генерированных методов изготовления;

Концептуальные модели и функциональные прототипы (Concept Modeling FunctionalPrototyping) – обозначают применение технологий быстрых прототипов; они охватывают изготовление сравнительно простых, не обладающих нужными механико–технологическими свойствами, но хорошо отображающих внешние формы и привлекательность будущих деталей.

При этом функциональные прототипы — это изготовленные методами RP изделия из пластмасс, металлов или других материалов, которые могут моделировать одно или больше механико–технологических свойств будущих деталей.

Эти разновидности моделей во многом определяют время первой фазы проектирования изделий.

Оборудование для изготовления перечисленных выше моделей и прототипов технологически идентично.

- Быстрое изготовление (Rapid Tooling). Под этим понимается изготовление с помощью RP - технологий инструментов и форм для изготовления прототипов и предсерийных изделий. Это относится как к моделям (Positive), так и к формам (Negative) в равной степени. Rapid Tooling стал фактором, определяющим время на второй фазе проектирования изделий и способствующим оптимизации собственно изделий и проектирования средств производства и технологии их изготовления.

Быстрое производство (Rapid Manufacturing). Под этим понимают RP - технологии, которые создают изделия серийного характера. Это могут быть как сами изделия, так и инструменты для серийного изготовления изделий. В силу

ограниченности материалов пригодных для RP - технологий, Rapid Manufacturing в настоящее время не могут рассматриваться как технологии, альтернативные традиционным. К тому же они часто проигрывают в производительности и не могут относиться к массовым производственным технологиям. Тем не менее, теоретически RM обладают поистине фантастическими перспективами, т.к. позволяют дистанционное управление производственными процессами, а значит, могут использоваться даже для создания изделий на других планетах, для чего необходимо лишь доставить туда технологические установки и иметь там подходящие конструкционные материалы. Эти сценарии сегодня кажутся фантастическими, но темпы технического прогресса делают их вполне вероятными уже в недалеком будущем. В целом RP - технологии предопределяют следующие тенденции развития изделий:

- более короткий цикл жизни изделия;
- возрастающая сложность конструкций;
- возрастающая индивидуализация изделий;
- уменьшающаяся серийность производства.

Взаимосвязь RP - моделей и фаз проектирования изделий

Согласно различным свойствам моделей и прототипов, получаемых с помощью RP - технологий можно установить целесообразную взаимосвязь RP - технологий с фазами создания изделия.

Эта взаимосвязь представлена на рисунке 2.107.

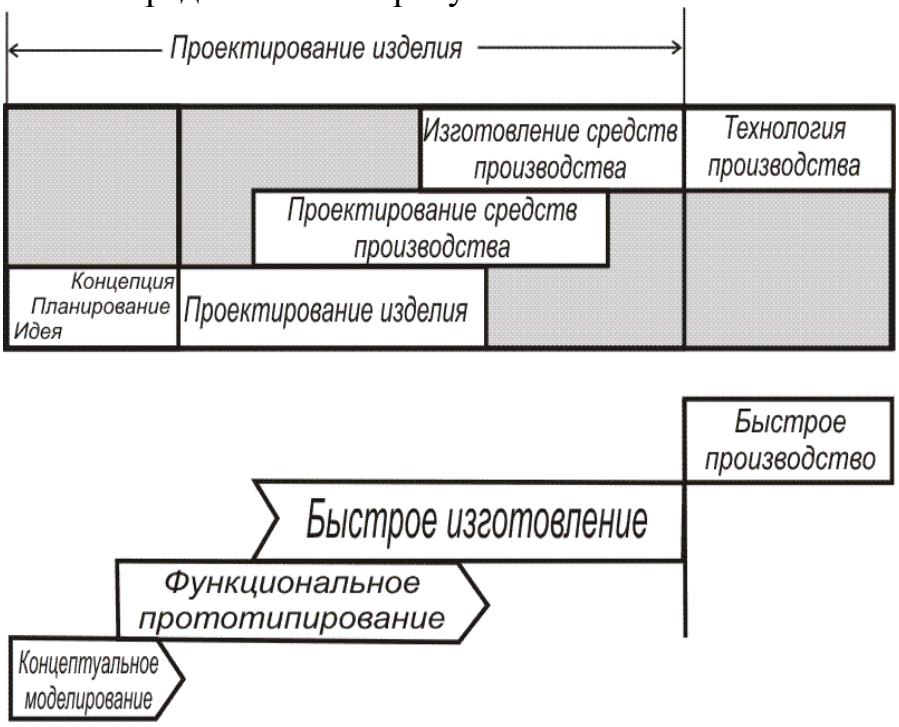


Рис. 7.56. Взаимосвязь применения RP - технологий с фазами создания изделий

II. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Ниже приведен перечень тем лабораторных работ, которые дополняют теоретический курс и способствуют закреплению теоретических знаний и формированию практических навыков по проектированию технологических процессов изготовления изделий медицинского назначения.

Лабораторная работа № 1. Характеристики основных способов получения заготовок литьем.

Лабораторная работа № 2. Получение заготовок обработкой давлением.

Лабораторная работа № 3. Исследование технологического процесса получения заготовок и деталей методом порошковой металлургии.

Лабораторная работа № 4. Процессы абразивной притирки и доводки плоских поверхностей.

Лабораторная работа № 5. Исследование влияния упругих деформаций технологической системы на точность обработки на токарном станке.

Лабораторная работа № 6. . Статистическое исследование точности деталей, обработанных на настроенном станке.

Лабораторная работа № 7. Статистическое регулирование технологических процессов механической обработки.

Лабораторная работа № 8. Влияние режимов резания на качество поверхностного слоя.

Лабораторная работа № 9. Экспериментальное и теоретическое определение припуска при точении наружных поверхностей.

Лабораторная работа № 10. Техническое нормирование. Проведение наблюдений.

Лабораторная работа № 11 Формирование качества изделий при сборке.

Лабораторная работа № 12. Ультразвуковые преобразователи. Методы измерения амплитуды ультразвуковых колебаний и визуализации акустических полей.

Лабораторная работа № 13. Ультразвуковая очистка и звукокапиллярный эффект в жидкости.

Лабораторная работа № 14. Методы подготовки поверхностей при нанесении покрытий.

При выполнении лабораторных работ № 1-14 рекомендуется пользоваться лабораторным практикумом по дисциплине «Технология производства изделий медицинского назначения» для специальности 6-05-0716-06 Биомедицинская инженерия (пункт (2) списка дополнительной литературы вспомогательного раздела ЭУМК). Ниже приводится описание лабораторной работы № 1.

Лабораторная работа № 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ЛИТЬЕМ

Цель работы

1. Изучить литейные свойства сплавов и элементы литейной формы
2. Изучить последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям.
3. Получить практические навыки изготовления восковых моделей с помощью резиновой пресс-формы
4. Изучить конструкции кокилей
5. Изучить технологический процесс изготовления отливок способом литья в кокиль
6. Изучить способы литья под давлением
7. Получить практические навыки получения отливок способом литья в кокиль
8. Изучить способ и разновидности получения отливок центробежным литьем
9. Получить практические навыки получения отливок способом центробежного литья

Инструменты и принадлежности к работе

1. Модель металлического кокиля
2. Парафин
3. Тальк
4. Электроплита
5. Емкость для плавления парафина
6. Устройство для центробежного литья
7. Гипс
8. Емкость для получения раствора гипса в воде
9. Пресс-форма из сырой резины
10. Металлическая модель
11. Моделировочный воск
12. Восковой ннжектор

Теоретическая часть

Основные сведенья о литейном производстве

Литейное производство - отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением фасонных заготовок и деталей путём заливки расплавленного металла в специальную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки (детали). При охлаждении залитый металл затвердевает и в твердом состоянии сохраняет конфигурацию той полости, в которую он был залит. Конечную продукцию называют отливкой. В процессе кристаллизации расплавленного металла и последующего охлаждения формируются механические и эксплуатационные свойства отливок.

Литье - наиболее простой и дешевый способ формообразования заготовок. Литьем получают разнообразные конструкции заготовок массой от нескольких граммов до 300 т, длиной от нескольких сантиметров до 20 м, со стенками толщиной 0,4–500 мм. Область применения того или иного способа литья определяется объемом производства, требованиями к геометрической точности и шероховатости поверхности отливок, экономической целесообразностью и другими факторами.

Литейные свойства сплавов.

Не все сплавы в одинаковой степени пригодны для изготовления фасонных отливок. Так, из одних сплавов (серого чугуна, силумина) можно легко изготовить отливку сложной конфигурации, а из других (титановых сплавов, легированных сталей) получение таких отливок связано с определенными трудностями. Получение качественных отливок, без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, к основным из которых относят:

– жидкотекучесть;

– усадку сплавов;

– газопоглощение;

– ликвацию.

Жидкотекучесть - способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести литейные сплавы заполняют все элементы литейной формы, а при низкой - полость формы заполняется частично и в узких местах образуются недоливы. Жидкотекучесть сплавов определяют по специальным пробам, а за меру жидкотекучести принимают длину заполненной спирали в литейной форме. В зависимости от жидкотекучести сплава выбирают минимальную толщину стенок отливок.

Усадка – процесс уменьшения объема отливки при охлаждении, начиная с некоторой температуры жидкого металла в литейной форме до температуры окружающей среды. Различают линейную и объемную усадки, которые определяют в процентах. Так относительная линейная усадка$К_л$ определяется следующим приближенным соотношением:

$$К_л = \frac{l_ф - l_{отл}}{l_ф} \cdot 100\% ,$$

где $l_ф$– размер формы в мм; – размер отливки при температуре 20 ºС, мм.

Относительная объемная усадка$К_{об}$ определяется:

$$К_{об} = \frac{v_ф - v_{отл}}{v_{отл}} \cdot 100\% ,$$

где $v_ф$ и – объем формы и отливки при температуре 20 ºС.

Изготовлять отливки из сплавов с повышенной усадкой сложно, так как в массивных частях отливки образуются усадочные раковины и усадочная

пористость. Для предупреждения образования усадочных раковин предусматривают установку прибылей – дополнительных резервуаров с расплавленным металлом для питания отливок в процессе их затвердевания.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять, водород, азот и другие газы.При последующем охлаждении и затвердевании растворимость газов уменьшается и в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры. Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы. С целью уменьшения газонасыщенность сплавов применяют плавление в вакууме или в среде инертных газов.

Ликвация – неоднородность химического состава в различных частях отливки. Ликвация зависит от химического состава сплава, конфигурации отливки, скорости охлаждения и ряда других факторов.

Элементы литейной формы.

Литейная форма – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

На рисунке 1.1, *а* показана литейная форма для получения отливки тройника (рисунок 1.1, *б*).

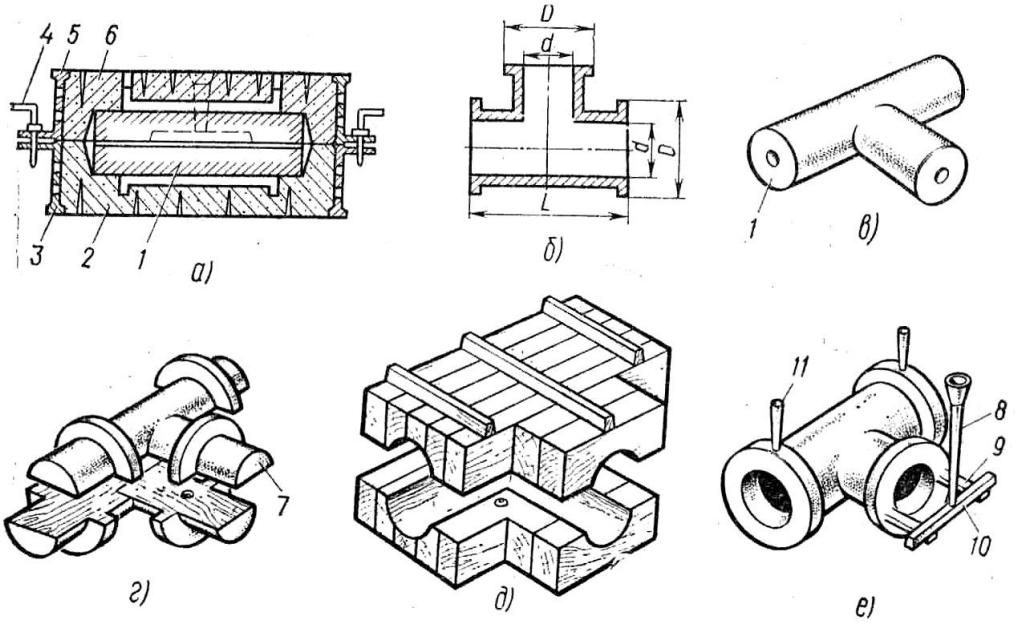


Рисунок 1.1 – Литейная форма и ее элементы

Литейная форма обычно состоит из нижней *2* и верхней *6* полуформ, которые изготавливают по литейным моделям *7* (рисунок 1.1, *г*) в литейных опоках *3, 5*. Литейная опора-приспособление предназначена для удержания формовочной смеси при приготовлении формы. Верхнюю и нижнюю полуформы взаимно ориентируют с помощью цилиндрических металлических штырей 4, вставляемых в отверстия приливов у опок.

Для образования полостей, отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни *1*, которые фиксируют посредством

выступов (стержневых знаков), входящих в соответствующие впадины форме. Литейные стержни изготавливают по стержневым ящикам (рисунок 1.1, *д*). Для подвода расплавленного металла в полость литейной формы и её заполнения, и питания отливки в процессе затвердевания металла используют литниковую систему *8-11*. После заливки расплавленного металла в полости литейной формы, его охлаждении и затвердевания форму разрушают, извлекают готовую отливку (рисунок 1.1, *е*).

Литье по выплавляемым моделям

При этом способе отливки получают путем заливки расплавленного металла в формы, изготовленные по выплавляемым моделям, путем многократного погружения в керамическую суспензию с последующей обсыпкой и отверждением.

Разовые выплавляемые модели изготовляют в пресс-формах из модельных составов, состоящих из двух или более легкоплавких компонентов (парафина, стеарина, воска, жирных кислот). Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям показана на рисунке 1.2.

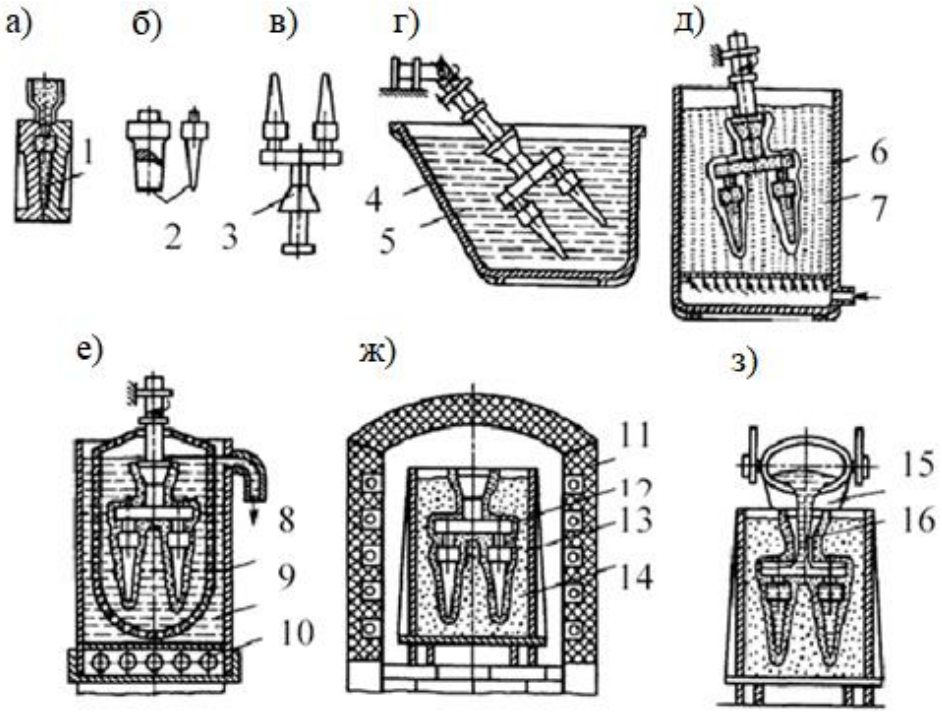


Рисунок 1.2 – Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям

Модельный состав обычно получают в пресс-формах (рисунок 1.2, а). После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рисунок 1.2, б) выталкивается в ванну с холодной водой. После этого модели собирают в модельные блоки 3 (рисунок 1.2, в) с общей литниковой системой (в один блок собирают от 2 до 100 моделей).

Керамическую суспензию изготавливают тщательным перемешиванием огнеупорных материалов (пылевидного кварца, электрокорунда и других) со связующим – гидролизованным раствором этилсиликата.

Формы по выплавляемым моделям изготавливают путем погружения модельного блока 3 в керамическую суспензию 5, налитую в емкость 4 (рисунок 1.2, г) с последующей обсыпкой кварцевым песком 7 в специальной установке 6 (рисунок 1.2, д). Затем модельные блоки сушат 2-2,5 часа на воздухе (или 20–40 минут в среде аммиака). На модельный блок последовательно наносятся 4-6 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого.

Модельный материал из полученной формы удаляют путем его выталкивания в горячей воде. Для этого ее на несколько минут погружают в бак 8, наполненный водой 9, которая устройством 10 нагревается до температуры 80-90℃ (рисунок 1.2, е). При этом модельный состав расплавляется, всплывая на поверхность ванны, откуда периодически удаляется для нового использования. Затем оболочки извлекаются из ванны, промываются водой и сушатся в шкафах в течении 1,5-2 часов при температуре 20ºС. После этого оболочки 12 ставят вертикально в жаростойкой опоке 13 и вокруг засыпают сухой кварцевый песок 14 и уплотняют его. После этого форму помещают в электропечь 11 (рисунок 1.2, ж), в которой ее прокаливают не менее двух часов при температуре 900 – 950ºС. При прокалке частички связующего спекаются с частичками огнеупорного материала, испаряется влага, выгорают остатки модельного состава. Формы сазу после прокалки, т.е. горячими заливают расправленным металлом 16 из ковша 15 (рисунок 1.2, з). После охлаждения отливки форма разрушается. Путем механической обработки отливки отделяются от литников и производится его очистка.

Этот способ литья позволяет получать отливки с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью, что в отдельных случаях не требует последующей механической обработки. В общем случае припуск на обработку составляет 0,2-0,7 мм. Этот способ позволяет получить сложные по конфигурации отливки с толщиной стенки от 0,5 мм и массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов в массовом производстве.

Недостатки способа связаны с тем, что он представляет собой многооперационный и трудоемкий процесс. При этом возможно образование дефекта в виде окисленного и обезуглероженного слоя на глубине до 0,5 мм, возникающего из-за высокой температуры на поверхности формы при заливке металла, а также возникновение газовых пор и усадочных раковин.

Литье в кокиль.

При этом способе литья отливки получают путем заливки расплавленного металла в кокиль. **Кокиль** – металлическая литейная форма, которая обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла и формирования отливки. Кокиль изготавливают из чугуна, стали и других сплавов.

Способ литья в кокиль имеет преимущества перед литьём в песчаные формы. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от заливаемого в них сплава: чем ниже температура заливаемого сплава, тем больше их стойкость. При этом способе

исключается применение формовочной смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок с высокими механическими свойствами. Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров с небольшими припусками на механическую обработку. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

К недостаткам этого способа литья относится высокая трудоёмкость изготовления и стоимость кокилей.

Существует опасность образования внутренних напряжений в отливке из-за отсутствия податливости металлической формы. В поверхностном слое кокильных чугунных отливок образуется структура цементита, что затрудняет их механическую обработку, поэтому необходима термическая обработка (отжиг) отливок.

В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 6 % стальных отливок, 11 % чугунных отливок. Этот способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производстве.

В зависимости от конфигурации и размеров отливки металлические формы делятся на неразъёмные и разъёмные.

В неразъёмных формах вся отливка целиком получается в одной форме (типа чашки). На рисунке 1.3 изображена неразъёмная вытряхиваемая форма. Ее применяют для получения простых отливок, имеющих достаточные уклоны на боковых стенках (плиты, коробки и т. п.).

Внутреннюю и внешнюю поверхности отливки в неразъёмном кокиле формируют при помощи стержней. Литниковая система делается внутри стержня. Такие металлические формы обычно закрепляются при помощи цапф на специальных стойках. После заливки производится поворот формы на 180° и удаляется (вытряхивается) отливка вместе со стержнем.

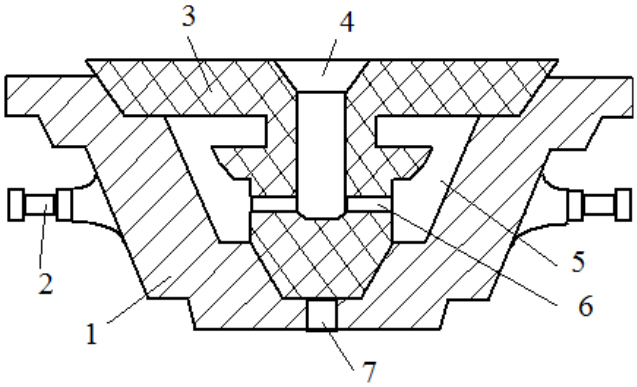


Рисунок 1.3 – Металлическая неразъёмная форма:1 – корпус формы;2 – цапфа для поворота формы при выбивке отливки;3 – песчаный стержень;4 – литниковая чаша со стояком; 5 – полость формы; 6 – питатели; 7 – вентиляционный канал

Разъёмные формы состоят из двух или более частей и, в свою очередь, разделяются на формы с горизонтальной, вертикальной и комбинированной плоскостями разъёма.

Металлическую форму с **горизонтальным разъёмом** (рисунок 1.4) применяют для таких же отливок, как и в неразъёмной форме, но с более сложной верхней поверхностью, образуемой рабочей частью верхней половины формы.

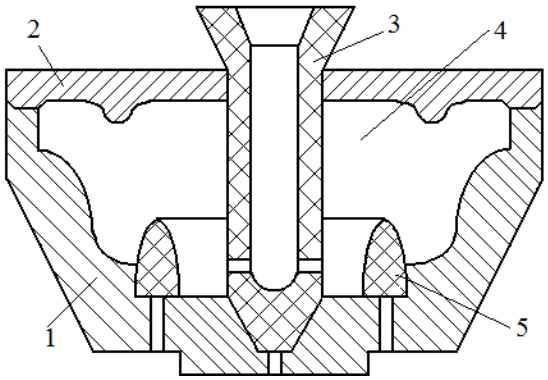


Рисунок 1.4 – Кокиль с горизонтальным разъёмом:1 – нижняя часть формы;
2 – верхняя часть формы; 3 – центральный песчаный стержень;
4 – полость формы; 5 – нижний кольцевой стержень

Металлические формы с **вертикальным разъёмом** (рисунок 1.5) применяют для изготовления более разнообразных и сложных отливок (корпусные детали, литые блоки цилиндров автомобильных двигателей, крупные поршни, крышки с массивными фланцами и т. д.).

Металлические формы с комбинированным разъёмом применяют для отливки сложных по конфигурации деталей. Внутреннюю конфигурацию и отверстия в отливках получают с помощью стержней, песчаных или металлических.

Песчаные стержни применяют для отливок из стали и чугуна. Они обладают повышенной податливостью, газопроницаемостью и огнеупорностью. Однако чистота внутренней поверхности отливок хуже, чем при применении металлических стержней.

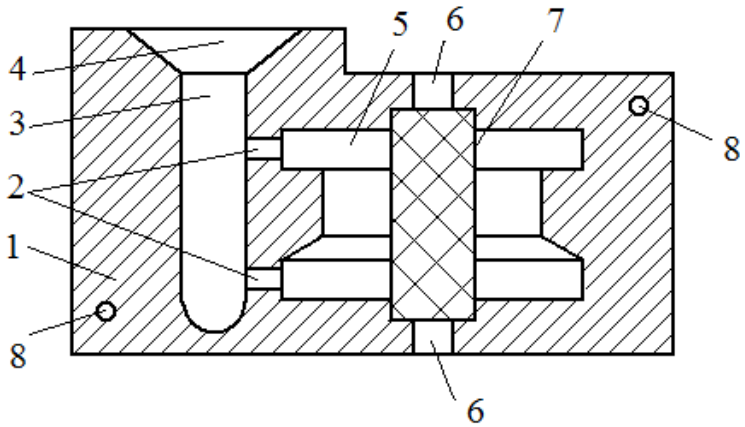


Рисунок 1.5 – Кокиль с вертикальным разъёмом, с песчаным стержнем:
1 – левая половина формы; 2 – каналы-питатели; 3 – стояк литниковой системы;

4 – литниковая воронка; 5 – полость формы; 6 – вентиляционные каналы;
7 – песчаный стержень; 8 – центрирующие отверстия

Металлические стержни применяют для сплавов с низкой температурой плавления, алюминиевых, магниевых и др. Металлические стержни, не обеспечивают свободной усадки отливки при охлаждении, поэтому они удаляются из отливки ещё во время затвердевания, перед выбивкой всей отливки из формы. Для удаления газов из кокиля по линии разъёма изготавливают газовые каналы и выпоры. Газовые каналы делают обычно глубиной 0,2–0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав, но легко удаляются газы.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования упрочнённого слоя на их поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их приготовляют из одного или нескольких огнеупорных материалов (кварцевой пыли, молотого шамота, графита, мела, талька и др.) и связующего материала (жидкого стекла, сульфидного щёлока и др.).

Механизировать и автоматизировать процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины – однопозиционные и карусельные. В этих машинах автоматизируют следующие технологические операции: открывание и закрывание кокилей, установку и удаление металлических стержней, выталкивание отливки из кокиля.

В металлических формах получают отливки чугунные от 10 г до 15 т, стальные от 0,5 г до 5 т и из цветных сплавов (медных, алюминиевых, магниевых) от 4 г до 400 кг

Литье в оболочковые формы

Оболочковые формы (разъёмные, тонкостенные) изготавливают следующим образом (рисунок 1.6).

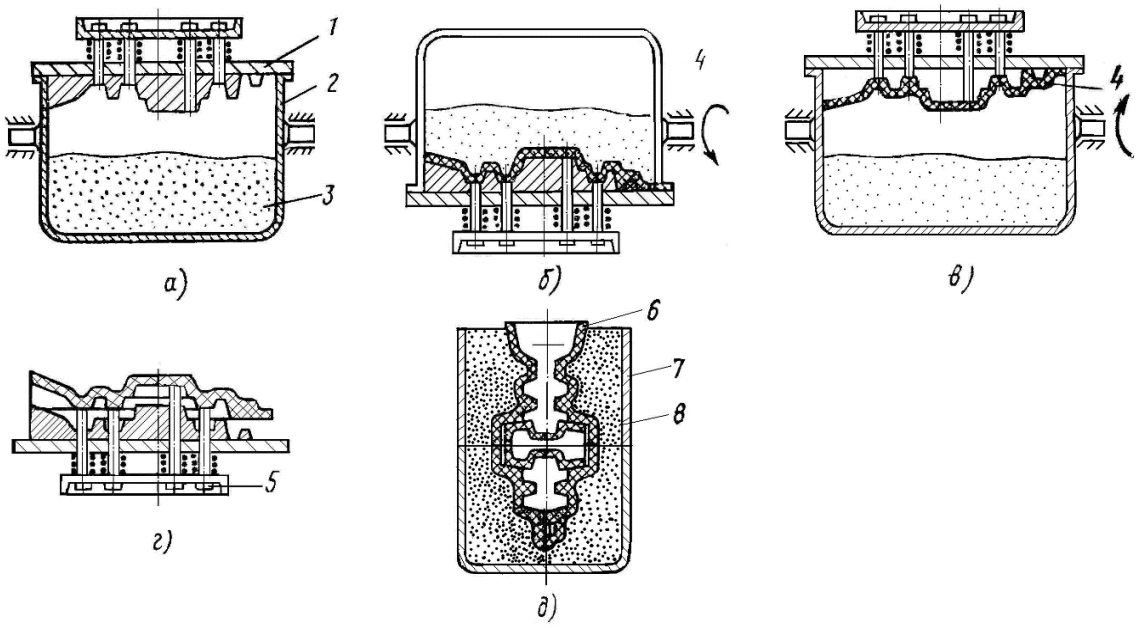


Рисунок 1.6 – Основные этапы изготовления оболочковых форм

Металлическую модельную плиту 1 (рисунок 1.6, *а*), нагретую до температуры 200-250ºС, закрепляют на опрокидывающем бункере 2 с формовочной смесью 3 и поверчивают его на 180° (рисунок 1.6, *б*). Формовочная смесь, состоящая из мелкозернистого кварцевого песка (93-96 %) и термореактивной смолы (4-7 %), насыпается и выдерживается 10-30 с. От теплоты модельной плиты термореактивная смола в пограничном слое переходит в жидкое состояние, склеивает песчинки с образованием песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5-20 мм в зависимости от времени выдержки. После этого бункер возвращается в исходное положение (рисунок 1.6, *в*), излишки формовочной смеси ссыпаются на дно бункера, а модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и нагревается в печи при температуре 300-350°С в течение 1-1,5 мин. В результате термореактивная смола переходит в твердое необратимое состояние. Затем твердая оболочка снимается с модели специальными толкателями 5 (рисунок 1.6, *г*). Аналогичным образом изготовляют и вторую полуформу.

Готовые оболочковые полуформы склеивают быстротвердеющим клеем на специальных прессах, предварительно установив в них литейные стержни.

Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении. При заливке в вертикальном положении литейные формы 6 (рисунок 1.6, *д*) помещают в опоки-контейнеры 7 и засыпают кварцевым песком или металлической дробью 8 для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава. Выбивку отливок проводят на специальных выбивных или вибрационных установках.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок и снизить припуски на их дальнейшую механическую обработку. В оболочковых формах изготовляют отливки с толщиной стенки 3-15 мм и массой 0,25-100 кг.

Центробежное литье.

При этом способе литья сплав заливают во вращающиеся формы, и формирования отливки осуществляются под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

В данном случае центробежная сила действует при вращении опоки вокруг произвольной точки. Она зависит от скорости и радиуса вращения центра массы:

$$F = m\omega^2 R = \frac{m\vartheta^2}{R},$$

где m- точка масса опоки с металлом; ω - угловая скорость; R- радиус вращения; ϑ – линейная скорости вращения.

Центробежным литьем отливки изготовляют в металлических, песчаных оболочковых формах и в формах для литья по выплавляемым моделям.

Металлические формы (изложницы) изготовляют из чугуна и стали. Толщина изложницы обычно в 1,5-2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитное покрытие для увеличения срока службы. Перед работой изложницы нагревают до температуры 200℃.

Процесс реализуется на специальных центробежных в машинах, у которых заполнение формы расплавом происходит при ее вращение вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси, либо вращений по сложной траектории. Наибольшее распространение получили два варианта реализации рассматриваемого способа литья: с горизонтальной и вертикальной осью вращения формы.

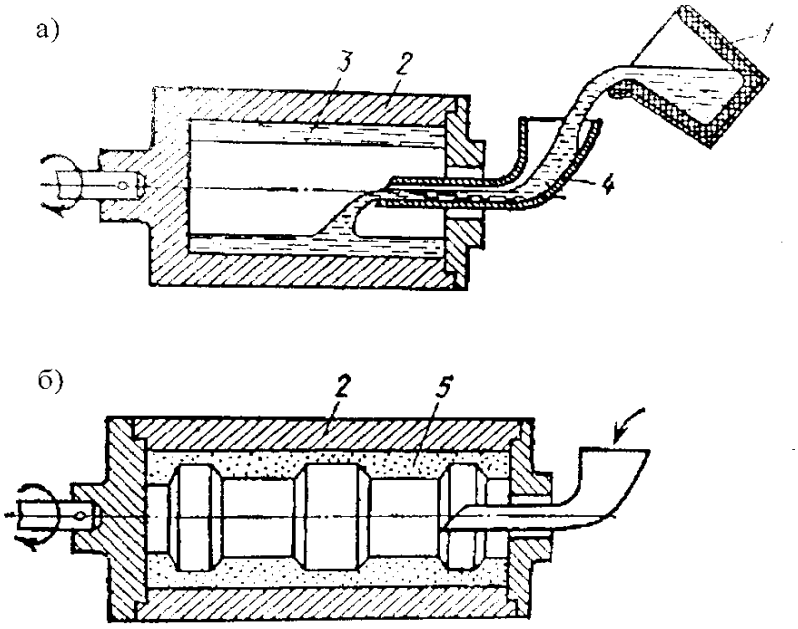


Рисунок 1.7 – Схема получения отливок центробежным литьем при вращении формы вокруг горизонтальной оси: а – при полученным отливки в виде изготовленного цилиндра; б – при получении фасонных отливок в песчаные формы

В машинах с горизонтальной осью вращения (рисунок 1.7, а) отливка 3 формируется в поле центробежных сил со свободной цилиндрической поверхностью, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы.

Фасонные отливки можно получать центробежным литьем в песчаные формы 5 (рисунок 1.7, б). Песчаные части формы 2 и 5 устанавливают и путём на центробежном столе, а расплав заливают через желоб в полость формы.

При получении отливок при вращении формы вокруг вертикальной оси (рисунок 1.8, а) расплав из ковша 1 заливают в вращающую форму 2.

Расплав 3 под действием центробежных и гравитационных сил распределяется по стенкам формы и затвердевает, после чего вращение формы прекращают и извлекает из неё полученную отливку.

Отливки с внутренней поверхностью сложной конфигурацией получают с использованием стержней (рисунок 1.8, б) формах 2 с вертикальной осью вращения (венцы зубчатых колес и т.п.). Расплав из ковша через заливочный отверстие и стояк 1 поступает в центральную полость формы, а затем под действием центробежных сил через щелевые питатели – в рабочую полость форму.

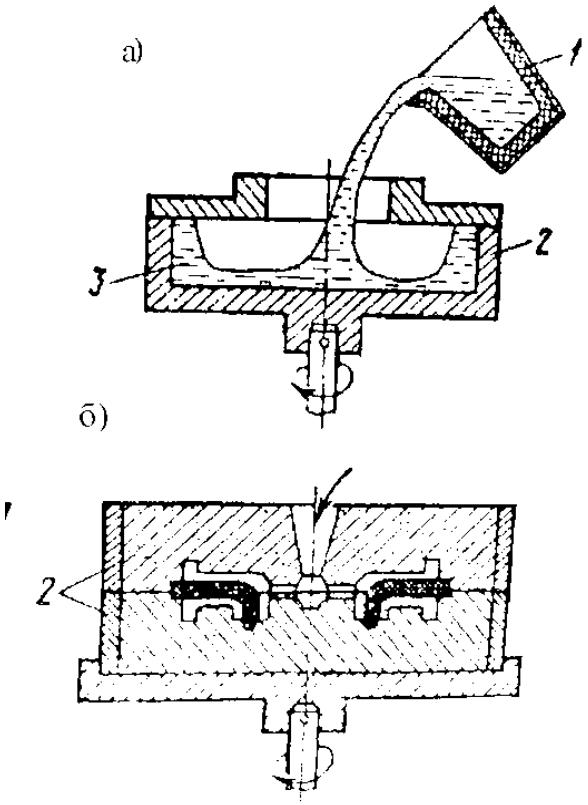


Рисунок 1.8 – Схема получения отливок центробежным литьем при вращении формы вокруг вертикальной оси: а – при получение отливок простой формы; б – при получении отливок сложной конфигурации.

В процессе охлаждения расплав в изложнице по объему охлаждается неравномерно. Часть теплоты отводится на расплав через стенку изложницы и

ее крышку, а часть – конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности.

В условиях центробежного литья это явления способствуют направленному затвердевания отливки в радиальном направление, в вследствие чего кристаллы растут в направлении поступающего расплава. Свободная поверхность расплава затвердевает в последнюю очередь и при горизонтальной оси его вращения форма свободной поверхности остается геометрически правильный – цилиндрической. Инородные частицы (газы шлак и т.д.) меньшей плотностью, чем плотность расплава всплывают на свободную поверхность расплава.

Преимущества центробежного литья – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, большая экономия сплава за счёт отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т.п.)

Литье под давлением.

Литье под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при это заливка металла в форму и формирования отливки осуществляется под давлением. Изготовляют отливки на машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На рисунке 1.9 показана схема изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования.

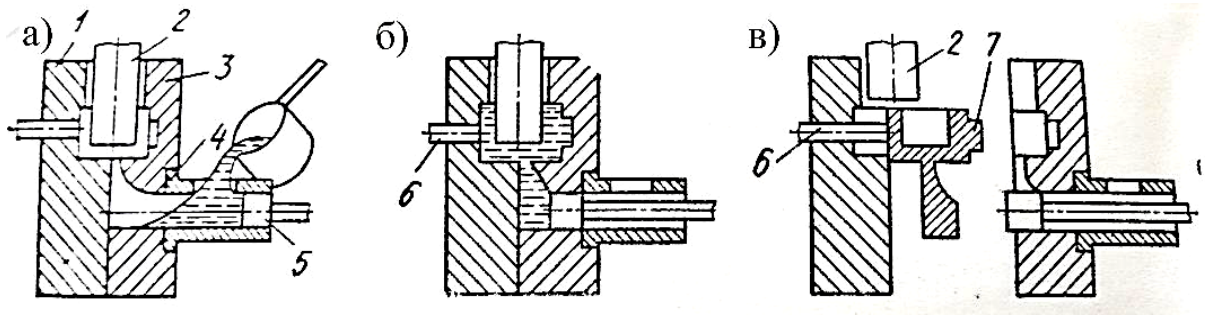


Рисунок 1.9 – Схема изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования 4 (рисунок 1.9, а), который плунжером 5 под давлением 40–100 МПа подается в полость пресс-формы (рисунок 1.9, б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (рисунок 1.9, в), извлекается стержень 2, и отливка 7 выталкивателям 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы. Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120-320 ℃. Воздух и газы удаляют через каналы, расположенные в полости разъёма пресс-

формы.Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рисунок 1.10) камера прессования 2 расположена в обогревательном тигле 1 с расплавленным металлом.

При верхнем положении плунжера 3 расплавленный металл через отверстия 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз, отверстия перекрываются, сплав под давлением 10-30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжера возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла из канала сливается в камеру прессования, а отливку из пресс-формы удаляется выталкивателем 6.Такие машины используются для изготовления обливок из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких грамм до 25 кг.

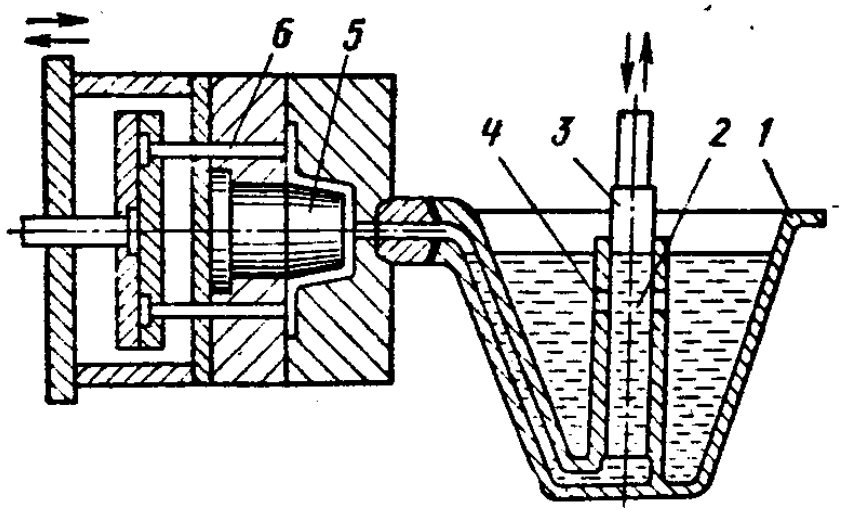


Рисунок 1.10 – Схема изготовления отливок с горячей камерой прессования

Литье под давлением используется в крупносерийном и массовом производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм с высотой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, достигнутых за счёт точной обработки и тщательного полирования рабочей поверхности пресс-формы. Это резко снижает объём последующей механической обработки отливок, или вовсе без неё получают готовые детали.

Недостатки литья под давлением высокая стоимость пресс формы и оборудование, а также ограниченность габаритам размеров и массы отливок.

Порядок выполнения работы

Получение отливки центробежным литьем

Для выполнения этой части работы используется специальное устройство, фотография общего видакоторого представлена на рисунке 1.11

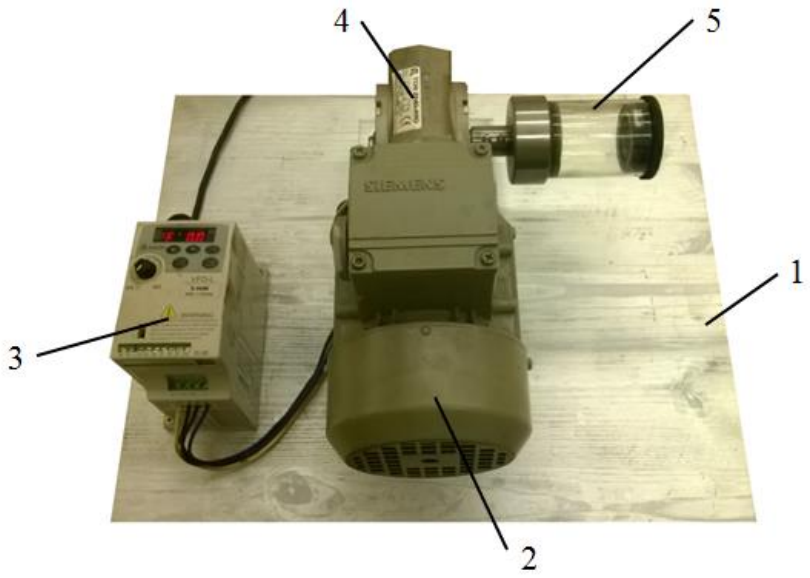


Рисунок 1.11– Фотография общего вида устройства для центробежного литья с горизонтальной осью вращения формы

На массивном основании 1 закреплен электродвигатель 2 с встроенным редуктором 4, выходной вал которого имеет горизонтально расположенную ось вращения. На нем устанавливается литейная форма 5, фотография общего вида которой приведена на рисунке 1.12



Рисунок 1.12 – Фотография литейной формы

Она представляет собой отрезок стеклянной трубки 3, один конец которой неподвижно закреплен (приклеен) в стальной втулке 1, а второй – закрывается резиновой крышкой 4 с отверстием. Стальная втулка по скользящей посадке устанавливается на вал редуктора и с помощью стопорных винтов 2 закрепляется на нем.

Питание электродвигателя осуществляется с применением частотного преобразователя 3 (рисунок 1.11), что позволяет бесступенчато регулировать частоту вращения вала.

Порядок получения отливки с помощью данного устройства заключается в следующем

1. Предварительно снять форму с вала редуктора для чего освободить стопорные винты 2, после чего снять резиновую крышку 4 (рисунок 1.12)

В данном случае, когда расплавленный металл моделируется раствором гипса, предусматриваются следующие действия.

2. Из картона толщиной 1 мм с помощью ножниц вырезать прокладку длиной 153 мм и шириной 50 мм, которая предотвращает сцепление гипса со стеклянной поверхностью формы

3. Смазать обе поверхности картонной прокладки маслом

4. Свернуть прокладку в виде цилиндра и поместить ее во внутреннюю полость стеклянной формы (рисунок 1.13)



Рисунок 1.13 – Фотография картонной прокладки 1, установленной во внутреннюю полость формы 2

5. С помощью мерного стакана отмерить 50г гипса

6. Пересыпать гипс из мерного стакана в пластмассовую емкость

7. Постепенно добавить в гипс воду, постоянно перемешивая состав, до получения консистенции раствора, соответствующей состоянию жидкой сметаны.

8. Установить форму вертикально и в полость формы залить полученный раствор.

9. Закрыть форму резиновой крышкой и закрепить форму на валу редуктора электродвигателя (рисунок 1.11)

10. Включить питание электродвигателя и с помощью частотного преобразователя увеличить частоту вращения формы до значения, при котором под действием центробежных сил раствор гипса будет равномерно распределен по внутренней поверхности формы.

11. По истечении 15-17 минут, необходимых для затвердевания гипса, отключить питание электродвигателя, снять форму с вала редуктора, снять с формы резиновую крышку и извлечь из формы полученную гипсовую отливку (рисунок 1.14)



Рисунок 1.14 – Фотография полученной гипсовой отливки

12. С помощью штангенциркуля измерить внутренний и наружный диаметры полученной отливки с ее двух сторон и оценить качество ее

поверхности.

Получение отливки литьем в кокиль

1. Разобрать металлический кокиль на составные части (рисунок 1.15)

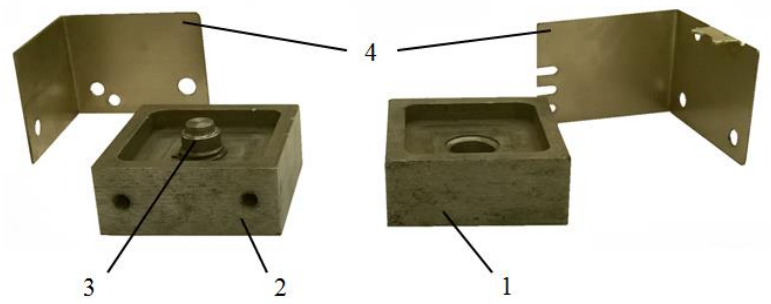


Рисунок 1.15 – Фотография составных частей металлического кокиля:
1-верхняя полуформа;2-нижняя полуформа; 3-стержень;
4-скобы для соединения полуформ

2. С помощью ватного тампона тщательно очистить формообразующие поверхности кокиля

3. С помощью ватного тампона нанести на формообразующие поверхности формы тонким слоем тальк.

4. Собрать кокиль, для чего ввернуть стержень в нижнюю полуформу, накрыть ее верхней и закрепить их с помощью скоб (рисунок 1.16)



Рисунок 1.16 – Фотография собранного металлического кокиля

5. Загрузить в металлический ковшик измельченный парафин

6. Включить электроплиту и установить на ее поверхность ковшик с парафином (рисунок 1.17)



Рисунок 1.17 – Фотография ковшика, установленного на поверхности электроплиты

7. Одновременно установить на электроплиту собранный кокиль для его предварительного прогрева.

8. По истечении 5 минут с помощью специальной перчатки снять кокиль с плиты и поместить его на керамическую плитку литьевым каналом вверх (рисунок 1.18)



Рисунок 1.18 – Фотография кокиля, установленного на керамической плитке

9. После расплавления парафина, аккуратно взять ковшик за ручку и залить парафин в литьевой канал формы до ее полного заполнения (рисунок 1.19)

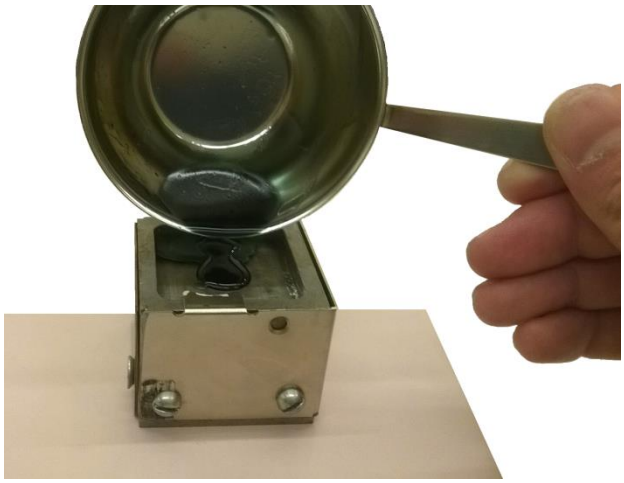


Рисунок 1.19 – Фотография процесса заливки расплавленного парафина в кокиль

10. Для быстрейшего охлаждения кокиля с расплавленным парафином поместить его в емкость со льдом (рисунок 1.20)



Рисунок 1.20 – Фотография кокиля, помещенного в емкость со льдом

11. По истечении 7-10 минут, необходимых для охлаждения кокиля, произвести его разборку, для чего выкрутить стержень из нижней полуформы, освободить скобу, разнять полуформы и извлечь полученную отливку (рисунок 1.21)



Рисунок 1.21 – Фотография полученной отливки из парафина

Получение восковой модели

Выполнению работы предшествует подготовительный этап, включающий в себя изготовление эталона литейной заготовки. Эталон заготовки может быть получен методом протопирования на 3D-принтере по разработанной заранее модели из пластика, либо механической обработкой из металла.

1. **Изготовление пресс-формы для восковых моделей.** Форма для тиражирования восковых моделей может быть изготовлена из различных материалов: сырой или силиконовой резины, пластмассы и пр. Резиновая пресс-форма получила более широкое распространение благодаря тому, что обладает эластичностью, долговечностью, прочностью. Различают два вида пресс-форм: разрезная и составная, состоящая из двух полуформ.

Разрезную пресс-форму изготавливают в металлической рамке. Внутрь рамки укладывают слой мягкой сырой резины и вдавливают металлическую модель детали с литником до ее середины толщины (рисунок 1.22).

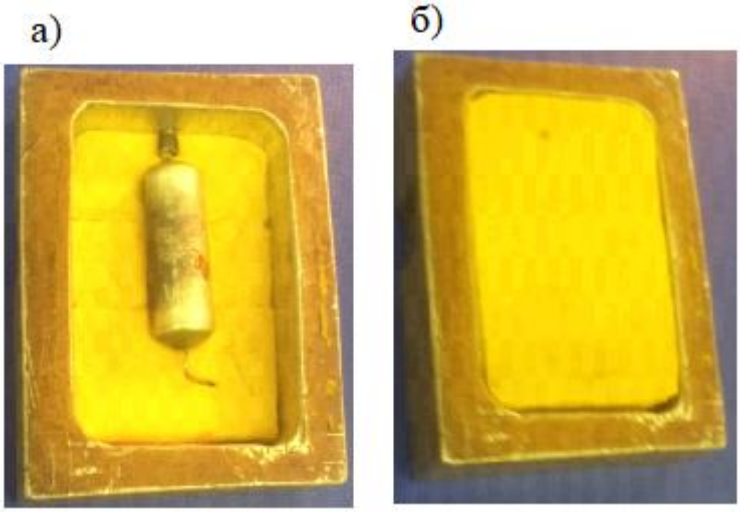


Рисунок 1.22 – Заполнение рамки сырой резиной

Затем заполняют рамку до верхнего уровня вторым слоем сырой резины и, обжав её с двух сторон металлическими пластинками, помещают в вулканизатор для вулканизации при температуре 130ºС в течение 30 мин (рисунок 1.23, а). Охлажденную пресс-форму извлекают из рамки, разрезают посередине (рисунок 1.23, б) зигзагообразными движениями ножа и извлекают из неё металлическую модель.

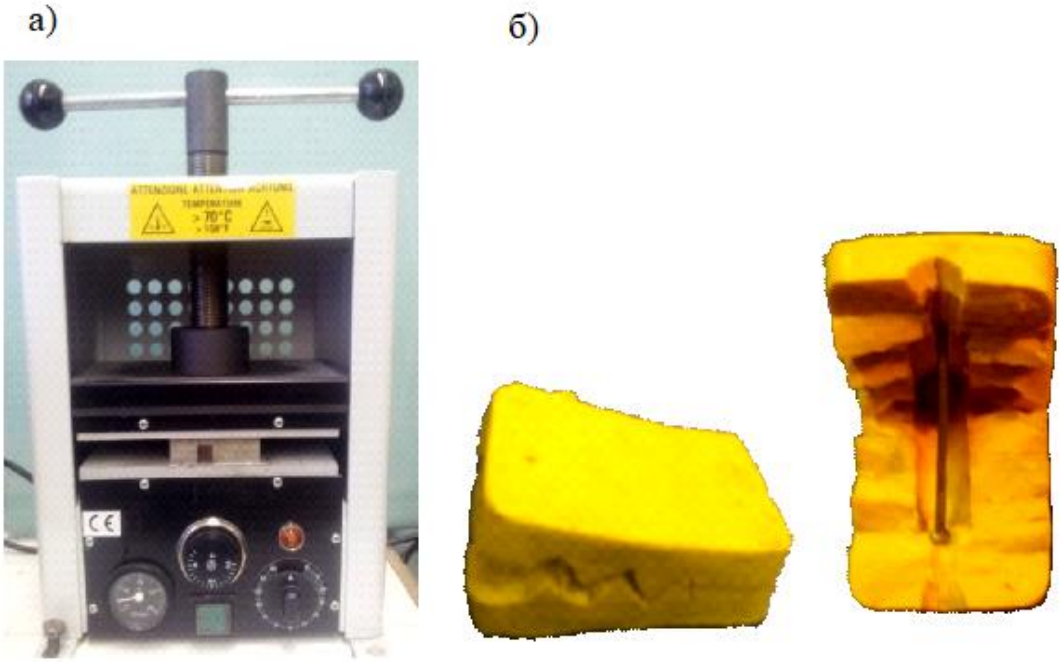


Рисунок 1.23 – Вулканизатор (а) и разрезная резиновая форма (б)

2. **Получение восковой модели**. Для тиражирования восковой модели используют восковый инжектор, в котором расплавленный инжекционный воск выдавливается под избыточным давлением в полость резиновой формы. Для этого резиновую форму плотно обжимают двумя металлическими пластинками и придавливают к штуцеру воскового инжектора (рисунок 1.24, а). Для того

чтобы восковая модель не прилипала к резине её внутреннюю поверхность предварительно обсыпают тальком

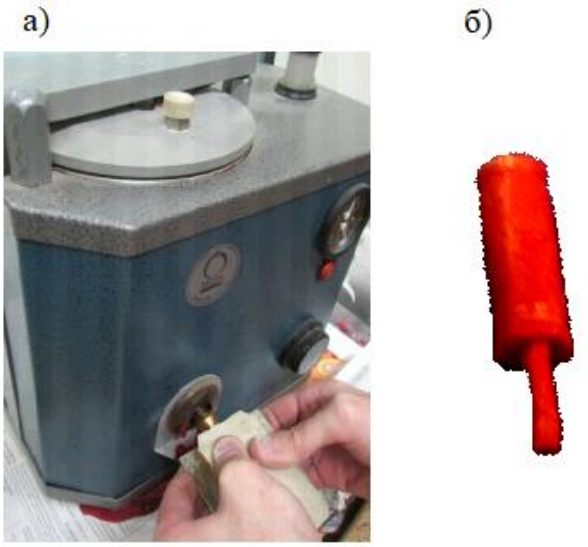


Рисунок 1.24 – Восковый инжектор (а) и восковая модель (б)

Через несколько минут застывшую восковую модель аккуратно изъять из резиновой формы и обмыть в мыльном растворе (рисунок 1.24, б).

Содержание отчёта

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть:
4.1 Получение отливки центробежным литьем
4.2 Получение отливки литьем в кокиль
4.3 Получение восковой модели
5. Вывод

Контрольные вопросы

1. Какие способы литья применяются в литейном производстве?
2. Перечислить и охарактеризовать специальные виды литья.
3. В чем заключаются преимущества и недостатки специальных методов литья?
4. Что называют центробежным литьем?
5. В чем заключаются преимущества центробежного литья? Какие способы центробежного литья применяются в литейном производстве?
6. Перечислите особенности центробежного литья.
7. Перечислите особенности методов литья в кокиль.
8. Назовите область применения литья в кокиль
9. Назовите область применения литья под давлением.
10. Какие металлы и сплавы применяют для литья под давлением?

11. Для чего предназначены стержни при литье?

12. Назовите достоинства и недостатки способов литья в одноразовые формы.

13. Какими литейные свойствами характеризуются сплавы металлов?

14. Из каких элементов состоит литейная форма?

15. Перечислите последовательность операций литья в одноразовые формы.

16. Какова последовательность получения резиновой пресс-формы и восковой модели?

Литература

1. Ефимов В.А. Специальные способы литья Справочник. — М.: Машиностроение,1991. — 436 с.

2. Чуркин, Б. С. Специальные способы литья : учеб.-метод. пособие для вузов / Б. С. Чуркин, А. Б. Чуркин, Ю. И. Категоренко ; Рос. гос. проф.-пед. ун-т. - Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2012. - 188 с.

1. Курсовое проектирование

Содержание

1. Задачи курсового проектирования 372
2. Содержание и объем курсового проекта 372
2.1. Содержание графической части 372
2.2. Содержание расчетно-пояснительной записки 372
3. Оформление курсового проекта 373
4. Защита курсового проекта 374
5. Примерный календарный план выполнения курсового проекта 374
6. Выполнение основных этапов проекта 375
6.1 Анализ конструкции детали на технологичность и оформление рабочего чертежа детали 375
6.2. Выбор метода получения заготовки и разработка маршрутной технологии 379
6.3. Расчет припусков на обработку 379
6.4. Расчет режимов резания и нормирование техпроцесса 380
6.5. Выбор средств измерения 383
6.6. Оформление технологической документации 384
6.7. Список использованных источников . **Ошибка! Закладка не определена.**

1. Задачи курсового проектирования

Курсовой проект (КП) и курсовая работа (КР) по «Технологии приборостроения» призван закрепить теоретические знания студентов в данной области, способствовать получению ими практических навыков применения этих знаний при технологическом проектировании. Данный КП (КР) – первый этап освоения методов проектирования технологических процессов изготовления деталей машин и проборов для студентов специальностей 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты», 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация», 1-40 01 02 «Информационные системы и технологии в проектировании и производстве»

При выполнении данного КП (КР) студенты в соответствии с заданием должны решить задачи выбора типа производства, метода получения заготовки, рационального маршрута обработки, допусков и припусков на обработку, технологических баз, технологического оборудования и оснастки, режимов резания, технически обоснованных норм времени.

2. Содержание и объем курсового проекта

Курсовой проект включает:

пояснительную записку, в которую входит весь текстовой материал, а также необходимые формулы, графики, таблицы и т.д.;

графическую часть.

Задание на КП (КР) должно содержать следующие данные**:**

- Рабочий чертеж детали;
- Годовой выпуск (по заданию руководителя могут быть заданы 1 или 2 программы выпуска: основная программа, предполагающая единичное или мелкосерийное производство; перспективная – серийное или массовое);
- Режим работы предприятия;
- Количество деталей на изделие;
- Процент запасных частей.

Студент получает задание от руководителя проекта в течение первой недели учебного семестра.

2.1. Содержание графической части

- Чертеж детали – 1 лист формат А3 или А4.
- Операционные эскизы – 1 лист формата А1.
- Схема маршрута технологического процесса 1 – 2 л формата А1 (ГОСТ). По решению руководителя проекта (работы) маршрут разрабатывается для основной и перспективной программы выпуска.

2.2. Содержание расчетно-пояснительной записки

2.2.1. Введение, в котором дается краткая характеристика функционального назначения изготовляемой детали и влияние на основные эксплуатационные характеристики работы узла, в состав которого она входит.

2.2.2. Анализ конструкции детали на технологичность по некоторым основным и вспомогательным показателям согласно ГОСТ 18831-90, 14.201-83 – 14.205-83.

2.2.3 Определение типа производства в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1108-83 в зависимости от численного значения коэффициента закрепления операций. На основании определенного заданием фонда рабочего времени и объема выпуска деталей определяется такт выпуска для массового производства или количество деталей в партии для серийного производства.

2.2.4. Выбор способа получения заготовки на основании сравнения возможных вариантов; решение о целесообразности выбора того или иного способа принимается после расчета технологической себестоимости детали с учетом стоимости заготовки.

2.2.5. Выбор варианта маршрутно-технологического процесса механической обработки, который производится на основе тщательного анализа требований чертежа (точность размеров, погрешности формы и взаимного расположения, показателей шероховатости и физико-механических свойств детали), с учетом современных достижений в области технологии приборостроения.

2.2.6. Расчет припусков, межоперационных размеров и размеров заготовки; на основании определения припусков выполняются расчеты предельных размеров обрабатываемой заготовки по всем технологическим операциям и переходам обработки; для поверхностей, у которых припуск определен расчетно-аналитическим методом, вычерчиваются схемы расположения промежуточных размеров, припусков и допусков.

2.2.7. Выбор оборудования, технологической оснастки.

2.2.8. Расчет и назначение режимов резания, после чего необходимо согласовать полученные величины с паспортными данными станка.

2.2.9. Техническое нормирование технологического процесса: при массовом и единичном производстве определяется норма штучного времени, при серийном – штучно-кулькуляционного времени.

2.2.10. Расчет необходимого количества металлорежущего оборудования производится на основе штучного времени и такта выпуска, после чего определяются коэффициенты загрузки станков.

2.2.11. Заполнение маршрутных карт, операционных карт или маршрутно-операционных карт и эскизов.

3. Оформление курсового проекта

Курсовой проект должен быть оформлен в полном соответствии с СТП БНТУ 301-2003 «Единая система стандартизации. Белорусский национальный технический университет. Курсовое проектирование. Общие требования и правила оформления».

4. Защита курсового проекта

Полностью выполненный курсовой проект подписывается студентом и руководителем курсового проекта.

Проект защищается перед комиссией, назначаемой заведующим кафедрой, в предусмотренные календарным планом сроки.

Доклад студента должен представлять собой четкое изложение, отражающее особенности конструкции, технологии, примененного оборудования и его использования. Обязательно должны быть выделены и обоснованы принятые студентом решения.

По результатам защиты комиссией выставляется оценка, учитывающая не только разносторонность и глубину технических знаний и умений студента, но и ритмичность, тщательность выполнения проекта в течение семестра.

5. Примерный календарный план выполнения курсового проекта

№ пп	Основные этапы выполнения проекта	Срок выполнения		Примерная трудоемкость работ, сумма, %
		весенний семестр	осенний семестр	
1	Анализ конструкции детали на технологичность и оформление рабочего чертежа детали	25.02	15.09	10
2	Определение типа производства	15.03	4.10	15
3	Выбор метода получения заготовки и разработка маршрутной технологии	20.03	15.10	20
4	Расчет припусков на обработку и оформление чертежа заготовки	1.04	1.11	35
5	Расчет режимов резания и нормирование техпроцесса	5.04	5.11	40
6	Выбор технологического оборудования и технологической оснастки	10.04	15.11	50
7	Заполнение технологических карт	20.04	20.1	60
8	Оформление технологических эскизов	5.05	5.12	80
9	Расчет основных экономических показателей техпроцесса	10.05	10.12	90

10	Подготовка защиты проекта	20.05	20.12	100
Защита курсового проекта		20-25.05	20-25.12	

6. Выполнение основных этапов проекта

6.1 Анализ конструкции детали на технологичность и оформление рабочего чертежа детали

Приступая к разработке технологического процесса, студент в обязательном порядке должен тщательно проанализировать конструкцию заданной детали с точки зрения обеспечения технологичности ее изготовления. Цель такого анализа состоит в выявлении недостатков данной конструкции и возможностей ее изменения для повышения технологичности изготовления изделия.

Технологичным считается такое изделие, которое, отвечает всем эксплуатационным требованиям, может быть изготовлено в данных конкретных условиях с наименьшими затратами времени, труда и материалов при использовании наиболее прогрессивных, экономически оправданных методов производства. Несмотря на то, что студенту в качестве задания на курсовое проектирование выдается рабочий чертеж детали, при анализе ее конструкции могут быть выявлены нетехнологичные элементы. Здесь необходимо учитывать и то обстоятельство, что технологичность конструкции изделия – понятие относительное, т.е. изделие технологичное для крупносерийного и массового производства оказывается нетехнологичным для мелкосерийного и единичного, поэтому выполнению данного этапа предшествует определение типа производства по методике (2) (ГОСТ 3.1108-83).

Важным этапом проектирования технологических процессов является технологический контроль чертежей. Студенту необходимо тщательно изучить выданный ему рабочий чертеж детали, который должен содержать все необходимые данные для ее изготовления. К ним относятся проекции, разрезы и сечения, дающие четкое и однозначное представление о конфигурации детали; все размеры с необходимыми отклонениями; значения шероховатости обрабатываемых поверхностей, допустимые отклонения формы и расположения поверхностей; сведения о материале детали, ее твердости и термообработке, применяемых защитных и декоративных покрытиях, массе детали. Следует обратить внимание на то, чтобы размеры всех диаметров и длин были установлены в соответствии с ГОСТ 8032-84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел», что приводит к резкому сокращению сортамента материалов, измерительного и режущего инструмента. Отступление допускается в том случае, когда размеры получают расчетом и выбор данного расчетного размера по предпочтительным числам исключает возможность выбора по этим числам другого связанного с ним размера. После выполнения

этого этапа необходимо перейти к технологическому анализу конструкции детали.

Главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции, являются: вид изделия, объем выпуска и тип производства. Вид изделия определяют главные конструктивные и технологические признаки, обусловливающие основные требования к технологичности конструкции. Объем выпуска и тип производства определяет степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и специализацию всего производства.

Оценка технологичности конструкции изделия может быть качественной и количественной. Первый вид оценки характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя. Количественная оценка технологичности конструкции изделия выражается показателями, численные значения которых характеризуют степень удовлетворения требований к технологичности конструкции. В курсовом проекте достаточно дать качественную оценку технологичности конструкции детали.

Общие правила отработки конструкции изделия на технологичность установлены ГОСТ 114.201-95, а показатели технологичности конструкций изделий, сборочных единиц и деталей регламентированы ГОСТ 14.202-85, 14.203-85, 14.205-85.

Конструкцию детали следует отрабатывать на технологичность комплексно, учитывая технологичность исходной заготовки детали каждого вида обработки в технологическом процессе изготовления, а также технологичность сборочной единицы, в которую эта деталь входит как составная часть. Такой подход к вопросам обеспечения технологичности конструкции детали требует их непрерывной проработки на протяжении всего периода курсового проектирования.

Общие требования к технологичности конструкции деталей следующие:

- конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом;
- возможность изготовления деталей из рациональной заготовки или из стандартного недефицитного материала (прокат, трубы, полосы, ленты);
- конструкция детали должна быть жесткой;
- точность и шероховатость базовых поверхностей должны обеспечивать точность установки, обработки и контроля;
- конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов ее изготовления;
- обрабатываемые поверхности корпусных деталей должны быть взаимно параллельны или перпендикулярны, наклонные обрабатываемые поверхности нежелательны;
- заготовки должны быть получены рациональным способом с учетом заданного объема выпуска и типа производства;
- метод изготовления должен обеспечивать возможность одновременного изготовления нескольких деталей;

- сопряжения поверхностей деталей различной точности и шероховатости должны соответствовать применяемым методам и средствам обработки.

Учитывая вышеперечисленные требования, анализ технологичности конструкции детали рекомендуется проводить в определенной последовательности с освещением следующих вопросов.

1. Исходя из функционального назначения детали, условий ее работы, применяемого материала, заданной годовой программы, рассмотреть возможность упрощения конструкции детали, а также целесообразность расчленения сложной детали на несколько простых с последующей сваркой, пайкой, склеиванием или механическим соединением отдельных элементов.

2. Проанализировать возможность использования метода получения заготовки, обеспечивающего ряд поверхностей с точностью и шероховатостью, не требующих дальнейшей обработки, и ряд поверхностей, требующих обработки с малыми припусками, что позволит сократить объем и трудоемкость механической обработки.

3. Подробно проанализировать конструктивные элементы детали и ее особенности с точки зрения технологичности их обработки. При этом следует руководствоваться рекомендациями по обеспечению технологичности конструкции типовых деталей.

4. Определить возможность выдерживания принципа единства баз для получения размеров, ограниченных допусками, а также необходимость применения дополнительных технологических операций для обеспечения указанных на чертеже точности и шероховатости обработанных поверхностей.

5. Определить, позволяет ли простановка размеров обеспечить точность функциональных параметров деталей и методов их достижения. Увязать указанные на чертеже допустимые отклонения размеров, значения шероховатости пространственные отклонения геометрической формы и взаимного расположения поверхности с геометрическими погрешностями станков.

6. Установить поверхности, которые могут быть использованы при базировании. При необходимости рассмотреть возможность введения искусственных баз.

7. В конструкции детали, подвергающейся термической обработке, предусмотреть конструктивные элементы, уменьшающие деформацию детали в процессе нагрева и охлаждения. В случае необходимости – предусмотреть мероприятия по предохранению отдельных элементов и участков детали от термообработки.

Особое внимание при обработке конструкции детали на технологичность следует уделить требованиям, предъявляемым к ее конструктивным элементам различными технологическими процессами. В этом плане можно привести ряд частных рекомендаций, касающихся конкретных технологических процессов и типовых деталей.

К примеру, при обработке валов следует обратить внимание на следующие моменты их конструктивного исполнения. Убывают ли к концам диаметральные размеры шеек вала? Возможно ли заменить закрытые шпоночные канавки открытыми, высокопроизводительная обработка которых осуществляется дисковыми фрезами? Обеспечивает ли жесткость вала получение заданной точности обработки? Жесткость вала считается недостаточной, если для получения точности 6 – 9 квалитетов отношение его длины к диаметру свыше 12.

Детали, обрабатываемые на токарных автоматах, должны по возможности иметь: минимальное количество различных диаметров и поверхностей, не имеющих форму тел вращения; сопряжение шеек или цапф с торцом по радиусу; симметричные допуски, особенно на линейные размеры; различную длину сверления и нарезания для внутренних резьб; длина сверления должна быть больше длины нарезания на три – пять шагов резьбы; различную длину протачивания под резьбу и нарезание резьбы для наружных резьб с тем, чтобы при ее нарезании плашка не соприкасалась с торцом; поднутрения на торцах посадочных мест валиков для лучшего прилегания сопрягаемых деталей и уменьшения усилия при расклепывании; фаски на резьбовых поверхностях для лучшего свинчивания сопрягаемых деталей; сквозные отверстия при наличии соосных отверстий с двух сторон детали; технологические фаски на утолщенной части трибов для фрезерования зубьев.

При обработке плоскостей их ширину необходимо увязывать с нормальным рядом диаметров торцовых или длин цилиндрических фрез. Предпочтение следует отдавать обработке плоскостей на проход. Плоскости бобышек и платиков на деталях необходимо располагать на одном уровне и желательно выше примыкающих элементов (ребер, выступов), что облегчает обработку на проход.

При фасонном фрезеровании углублений в плоских деталях, например, в платинах и мостах сопряжения продольных и поперечных участков должны выполняться не под прямым углом, а по радиусу возможно большего размера. Конструкция пазов должна по возможности допускать их обработку на проход.

В деталях предусматривать сквозные отверстия, так как их обработка значительно легче обработки глухих отверстий. Конфигурация глухих отверстий должна быть увязана с конструкцией применяемого осевого инструмента (зенкера, развертки). Расстояния между отверстиями назначать с учетом возможности использования для их обработки многошпиндельных сверлильных головок.

Во избежание поломки сверл при сверлении входная и выходная поверхности должны быть перпендикулярны к оси отверстия. При обработке нескольких отверстий, расположенных на одной оси, желательно последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предшествующего отверстия (ступенчатое расположение отверстий).

Таким образом, основываясь на общих и частных рекомендациях, а также рекомендациях, приведенных в справочной литературе по конкретным методам получения заготовок и их механической обработке, студент проводит анализ технологичности конструкции заданной детали.

По результатам анализа конструкции детали на технологичность и учете ее назначения может быть принято решения об изменении конструкции детали с целью повышения ее технологичности. Предполагаемые изменения должны быть согласованы с руководителем проекта и обоснование этих изменений должно быть приведено в пояснительной записке.

После выполнения этих работ оформляется рабочий чертеж детали с соблюдением всех требование ЕСКД.

6.2. Выбор метода получения заготовки и разработка маршрутной технологии

На основе технических требований чертежа (точности размеров, формы детали, ее шероховатости) определяется метод окончательной обработки каждой поверхности детали. Учитывая способ получения заготовки и среднеэкономическую точность различных видов обработки, определяются вид и число промежуточных операций и переходов.

В ходе выполнения данного этапа курсового проекта разрабатывается последовательность обработки поверхностей деталей; определяются методы обработки; выбирается металлорежущее и контрольное оборудование, режущий инструмент, приспособления; решаются отдельные задачи проектирования операций (предусматривается возможность совмещения переходов в одной операции, применение инструмента того или иного типа, выбор производительного оборудования и т.д.).

Окончательное заключение о целесообразности принятых решений дается на основе укрупненного технико-экономического расчета, позволяющего определить величину годовой экономии по приведенным затратам с учетом себестоимости получения заготовки.

Содержание данного расчета определяется принятыми решениями и подробно рассмотрено в литературе (2).

6.3. Расчет припусков на обработку

Расчет припусков может быть осуществлен двумя методами: расчетно-аналитическим и опытно-статистическим (по таблицам).

Определение припусков расчетно-аналитическим методом осуществляется для одной-трех разнотипных поверхностей по указанию руководителя проекта в зависимости от числа операций по обработке данной поверхности. Для этих поверхностей строятся схемы расположения промежуточных припусков и допусков. Припуски остальных поверхностей определяются опытно-статистическим методом и заносятся в сводную таблицу.

Методика расчета и его оформление приведены в литературе (2).

Значения межоперационных припусков используются для нахождения предельных размеров поверхностей после каждой операции, для заполнения операционных карт и оформления операционных эскизов.

6.4. Расчет режимов резания и нормирование техпроцесса

При выполнении данного этапа завершается проектирование операций механической обработки, начатое при разработке маршрутной технологии. Решаются вопросы базирования заготовки, последовательности переходов и совмещения, возможность многоинструментальной обработки, выбирается режущий инструмент и приспособления, проводится расчет режимов резания и норм времени на операцию.

Расчет режимов можно выполнять по формулам (9) или назначать по нормативам (7-10).

Элементы режима резания: глубина резания *t*, подача *S*, скорость резания *V*.

Для расчета или назначения нормативных элементов режима резания необходимо иметь следующую информацию:

о заготовке в состоянии поставки (способ получения, форма, размеры, материал и его физико-механические свойства);

о детали (размеры, технические условия на обрабатываемые поверхности);

о режущем инструменте (тип, материал, геометрические параметры режущей части, стойкость и допустимый износ);

о технологических возможностях оборудования (частота вращения шпинделя, подача, установочные размеры, мощность привода и т.д.).

Расчет должен выполняться одновременно с заполнением операционных или маршрутных карт технологического процесса, что исключает необходимость дублирования одних и тех же сведений в различных документах, и в той форме и последовательности, которые, дополняя технологического технологическую карту, позволяют сократить время, необходимое для производства самого расчета, и свести его в такую систему, которая дает возможность легко проверить отдельные элементы произведенного расчета. С этой целью расчет режимов резания предполагается вести в виде карт расчета или расчетных формуляров, ряд которых приведен в литературе (4), с. 235 – 247.

Для всех видов обработки порядок выбора (расчета) режимов резания происходит примерно по следующей схеме:

1) Устанавливают припуск для обработки за один рабочий ход инструмента и определяют количество проходов;

2) Выбирают тип режущего инструмента, материал режущей части, его размеры и геометрические параметры;

3) Устанавливают глубину резания.

При точении глубина резания зависит от величины припуска на обработку, шероховатости обработанной поверхности, формы заготовки,

мощности станка и определяет машинное время на обработку. Для уменьшения машинного времени на точение глубину резания *t* желательно устанавливать равной припуску на сторону *z*.

Припуск *z* на сторону (радиус) равен половине разности диаметра заготовки $d_з$ и диаметра *d*

$$z = \frac{d_з - d}{2}$$

Основным ограничением в данном случае является шероховатость обработанной поверхности, а также точность обработки. Увеличение силы резания при ограниченной жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) вызывает дополнительные погрешности. Последнее ограничение следует учитывать при повышенных требованиях к точности обработки.

С увеличением глубины резания (при прочих равных условиях) шероховатость обработанной поверхности ухудшается. При невысоких требованиях к шероховатости поверхности необходимо устанавливать глубину резания *t* равной припуску *z*.

При повышенных требованиях к шероховатости обработанной поверхности необходимо планировать черновую и чистовую обработку. При чистовой обработке устанавливают следующую глубину резания:

Для $Rz = 40 - 10 мкм$; $t = 0.5 - 2 мм$;

Для $Ra = 2{,}5 - 0{,}63 мкм$; $t = 0.1 - 0{,}4 мм$.

Глубина резания для черновой обработки в данном случае равна разности между общим припуском на сторону и глубиной резания при чистовом точении.

<u>При сверлении</u> глубина резания составляет половину диаметра просверленного отверстия, т.е. $t = 0.5 Д_{св}$, а при рассверливании, зенкеровании и развертывании $t = 0.5(Д - d)$, где $Д$ – диаметр отверстия после обработки; *d* – диаметр отверстия до обработки.

<u>При фрезеровании</u> глубина резания *t* назначается в зависимости от требований к шероховатости обработанной поверхности и величины припуска (по возможности берется максимальной).

Припуск на обработку целесообразно снимать за один проход. При повышенных требованиях к точности и шероховатости припуск снимается в два прохода – черновой и чистовой.

При черновой обработки поверхности (до $Rz = 40 мкм$) глубина резания $t = 2 - 3 мм$, для шероховатости поверхности $Rz = 40 - 10 мкм$ и при чистовом фрезеровании ($Ra = 2{,}5 - 0{,}63 мкм$) $t = 0.75 - 2 мм$.

<u>При нарезании</u> зубчатых колес глубина резания *t* равна глубине впадины зубьев, если колесо нарезается за один проход. Когда число проходов увеличивается, то глубина резания за каждый проход соответственно изменяется. Например, при двух проходах общая глубина резания $t = 2{,}2m$

разбивается на $t_n = 1.4m$ при черновой обработке и $t_o = 0.8m$ при чистовой, где m – модуль колеса.

При нарезании резьбы глубина резания t равна высоте профиля резьбы H и H_1.

При шлифовании (кроме бесцентрового наружного) глубина резания t (поперечная подача) измеряется в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности и равна толщине слоя металла, снимаемого шлифовальным кругом за один проход (мм/ход) или двойной (мм/дв.ход) продольный ход стола (заготовки).

При черновом шлифовании поперечная подача на каждый ход стола $t = 0{,}01 - 0{,}25 мм$, причем большие значения берутся при $S \prec 0.5B$ мм/об (мм/дв.ход) заготовки, меньшие – при $S \geq 0.5B$ мм/об (мм/дв.ход) заготовки , где S - продольная подача, B – высота круга. При чистовом шлифовании поперечная подача $t = 0{,}005 - 0{,}015 мм$; при прочих одинаковых условиях менее шероховатая обработанная поверхность получается при работе с большими окружными скоростями вращения шлифовального круга, с меньшими продольными подачами, с меньшими скоростями перемещения (или вращения) заготовки и с меньшими глубинами шлифования.

4) Определяют величину подачи S_o (мм/об) или $S_м$ (мм/мин) или S_z (мм/зуб). Здесь большое значение имеют требования к качеству поверхности и точности обработки;

5) Задаваясь периодом стойкости инструмента T, по значениям t и S определяют экономически целесообразную скорость резания, которую при необходимости корректируют, исходя из конкретных условий работы, отличающихся от предусмотренных нормативами. Период стойкости инструмента выбирается по таблицам с учетом организационных факторов, таких, например, как удобные для обслуживания станочного парка сроки смены режущего инструмента или затраты времени на его перезаточку и установку;

6) Определяют частоту вращения обрабатываемой детали или инструмента, а при некоторых вариантах видов обработки (например, при круглом шлифовании) – частоту вращения и детали и инструмента. Расчетное значение частоты вращения, также как и расчетную величину подачи, согласовывают со значением, приведенным в паспорте станка, выбирая ближайшее меньшее число. Если в справочниках и каталогах станков не указаны все значения частоты вращения шпинделей, подач и чисел двойных ходов, то полученные расчетные значения округляются до ближайших, имеющихся в нормальных рядах, которые построены на геометрической прогрессии. В этом случае можно воспользоваться методикой, предложенной авторами работы (4) на с. 93 – 94;

7) Проверяют выбранный режим, сверяя его с паспортными данными станка и по прочностным показателям. Здесь важно рационально использовать мощность двигателя станка, сравнить силу резания с силой механизма продольной подачи станка, проверить сечение тела инструмента на изгиб или

кручение и т.д. В случае необходимости вносят в выбранный режим поправка. В некоторых случаях требуется выбрать новый станок, при котором мощность двигателя станка будет использоваться более рационально (не менее 80 – 90%) и уточнить режимы резания, взяв их по паспорту нового станка, но близкие к ранее определяемым;

8) Определяют по формулам или нормативным материалам основное технологическое время.

Следует помнить, что режимы резания выбирают в зависимости от того, какая производится обработка: предварительная, когда необходимо достичь наивысшей производительности, или чистовая, при которой определяющую роль играют требования к геометрической точности и шероховатости обрабатываемой поверхности детали. В первом случае критерием является экономически выгодная стойкость инструмента, при которой затраты на обработку становятся минимальными.

Расчет режимов резания для многоинструментальной обработки на одношпиндельных и многошпиндельных станках следует вести, пользуясь рекомендациями и формулярами (2) на с. 95 – 97.

Техническое нормирование проводится по всем операциям техпроцесса. Для двух операций (для которых подробно рассчитывались припуски и режимы работы) подробно приводится составляющие нормы времени с указанием содержания основных и вспомогательных переходов из литературных источников (4, 5, 6, 10, 5д, 6д, 7д, 8д). Нормы времени по остальным операциям представляются в виде сводной таблицы (2).

На данном этапе определяется также разряд рабочего.

Элементы нормы времени заносятся в операционные карты.

По результатам технического нормирования определяется необходимое количество оборудования.

6.5. Выбор средств измерения

При разработке технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц равноправной операцией являются операция технического контроля. Часто в технологическом процессе приходится осуществлять ***приемочный*** контроль – контроль готовой продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставке и (или) использованию. Приемочному контролю в технологическом процессе обычно предшествует операционный контроль – контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения определенной операции (ГОСТ 16504-81).

Получение оперативной и достоверной информации об измеряемой величине при измерительном контроле, осуществляемом с обязательным применением средств измерения, невозможно без грамотного выбора средств измерения. Выбор средств измерения должен обеспечить:

- требуемую точность измерений;
- требуемую производительность измерений;
- требуемую экономичность измерений;

- получение достоверной информации обо всех изделиях в партии.

Порядок разработки процессов (операций) технического контроля регламентирован ГОСТ 14.317-81. В стандарте указано, что операции технического контроля должны предусматривать получение информации для регулирования технологического процесса, а также обеспечивать предупреждение с заданной вероятностью пропуска дефектных материалов, заготовок, полуфабрикатов, деталей и сборочных единиц для последующего изготовления и ремонта изделий.

Следует также обратить внимание на требование стандарта о необходимости обеспечения единства конструкторских, технологических и измерительных баз. Несовпадение баз допускается в технически обоснованных случаях.

6.6. Оформление технологической документации

Разработанный технологический процесс курсового проекта оформляется в виде следующих документов:

Наименование документа	Форма	ГОСТ
Титульный лист	2	3.1117-81
Маршрутная карта: заглавный лист последующие листы	 1 1б	 3.1118-82 3.1118-82
Карта эскизов	7, 7а	3.1105-84

Последующие листы маршрутной карты используются в случае, если на заглавном листе не удается разместить всю информацию.

В курсовых проектах маршрутные карты являются основным документом, в котором отражена последовательность и содержание технологических операций.

Необходимые для иллюстрации операционные эскизы размещают на картах эскизов.

Общие требования к формам технологической документации регламентируются ГОСТ 3.1104-81 и 3.1129-93.

Правила оформления маршрутных карт по ГОСТ 3.1118-82.

Правила оформления карты эскизов и титульного листа по ГОСТ 3.1108-84.

Последовательность заполнения информации в маршрутных картах (МК) для каждой операции по типам строк должна быть: МО1, МО2 (информация об основном материале); А, Б, О (содержание операции, перехода); Т (сведения о технологической оснастке); Р (сведения о технологических режимах); М (информация о вспомогательном материале, абразиве, смазочно-охлаждающей жидкости).

В графе МО1 указываются наименование, марка и нормативный документ, регламентирующий свойства основного материала детали.

Графы «Код» (Код материала), «ЕВ» (Код единицы величины), «Код загот.» (Код заготовки) заполняются по технологическому классификатору (Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения .- Ч.1. / Под ред. В.Р.Верченко. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 168 с.). Под видом заготовки понимается прокат, отливка или поковка. В графах МД и МЗ записываются, соответственно, массы детали и заготовки в единицах массы, закодированные кодом в графе ЕВ (код единицы величины). В графе КИМ записывается величина коэффициента использования материала, определяемая отношением массы детали и массы заготовки (КИМ = МД/МЗ).

Графа «ЕН» (Единица нормирования) для заготовки указывает количество деталей, на которое установлена норма расхода материала (например, 1, 10, 100 шт. и др.).

В графе «Н.расх.» (Норма расхода) записывается масса материала, необходимая для изготовления количества заготовок, указанного в предыдущей графе, с учетом потерь на разрезку и некратность заготовки длине прутка.

Графа «КД» (Количество деталей) указывает на количество деталей, которое изготавливается из прутка, поступившего на рабочее место. Размеры прутка указываются в графе «Профиль и размеры». При самостоятельном выборе заготовки размеры в этой графе указываются в соответствии с действующими стандартами.

Графы «Цех», «Уч.», «РМ» в курсовых проектах не заполняют.

Графа «Опер.» (номер операции) представляется тремя знаками с интервалами через пять единиц, в производственных условиях это учитывает возможность введения новых операций, например: первая операция – 005; вторая операция – 010; третья операция – 015 и т.д.

В графе «Код, наименование операции» указывают код и наименование операции по классификатору.

В графе «обозначение документа» дается ссылка на документы, инструкции по охране труда, применяемые при выполнении данной операции. Состав документов следует указывать через разделительный знак «;» с возможностью, при необходимости, переносе информации на последующие строки.

В графе «Код, наименование оборудования» дается информация по коду оборудования по классификатору и по краткому наименованию оборудования. Допускается взамен краткого наименования оборудования указывать его модель.

В графе «СМ» (Степень механизации) степень механизации и автоматизации операций по следующей схеме:

1 – ручной способ;

2 – механизированный;

3 – автоматизированный;

4 – операции, выполняемые на станках с ЧПУ.

В графе «Проф.» указывается код профессии по классификатору.

В графе «Р» указывется разряда работы, необходимый для выполнения операции.

Графу «УТ» (код условий труда) в курсовом проекте допускается не заполнять.

В графе «КР» указывается количество рабочих, занятых на операции, а в графе «КОИД» - количество одновременно изготовленных деталей при выполнении одной операции.

«ОП» (Объем производственной партии в штуках) – заполняется только для серийного производства.

«$K_{шт.}$» - коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании учитывает оплату рабочего при многостаночном обслуживании в зависимости от числа обслуживаемых станков.

Количество обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{шт.}$	1	0,65	0,48	0,39	0,35	0,32	0,3	0,27	0,24	0,21

В графах «$T_{п.з.}$» и «$T_{шт.}$» в курсовом проекте записываются T_o и штучное $T_{шт.}$ время, соответственно.

В строке, поименованной литеров «О», при однопроходной операции записывается содержание операции с указанием требований, предъявляемых к операции, и условий, выполнение которых обязательно на данной операции.

При выполнении многопереходной операции в этой строке ставится номер перехода и записывается содержание перехода.

Так как маршрутная карта обязательно сопровождается картой эскизов, то выполняется сокращенна форма записи со ссылкой на условное обозначение конструктивного элемента обрабатываемого изделия указанием условных обозначений размерных, точностных и качественных параметров, достигаемых на данной операции обозначенных на карте эскизов арабскими цифрами.

Например: «Точить поверхность 1, выдерживая размеры 2, 3 и шероховатость 4».

В строке «Т» записывается информация о необходимой технологической оснастке в следующей последовательности:

режущий инструмент;

зажимные и базирующие приспособления;

вспомогательная оснастка.

Информация о технологической оснастке заполняется в следующей последовательности: наименование, обозначение ГОСТ или ТУ.

Например: фреза отрезная дисковая 2254-0643 ГОСТ 2679-73.

Данные об оснастке заполняются через разделительный символ «;». Если недостаточно места в одной строке, то данные записываются в следующих

строках, которые также обозначаются в левой отличительной части литерой «Т».

В данных режимах, поименованных литерой «Р», включаются следующие параметры: глубина резания, мм – *t*, число проходов – *i*, подача ($S_{об}$ - подача на оборот, мм/об; $S_м$ - минутная подача, мм/мин); частота вращения шпинделя детали, об/мин - $n_д$; скорость резания *V* (шлифование – м/с; лезвийная обработка – м/мин). Простановка режимов через разделительный знак «;».

Пример: $t = 1мм$; $i=2$; $S_{об} = 0{,}1мм/об$; $n_д = 800$ *об/мин*; *V=140,3м/мин*.

Карта эскизов механической обработки заполняется и оформляется по аналогии с технологическими эскизами в графической части проекта. К специфическим особенностям оформления КЭ следует отнести: в случае одноинструментальной обработки на эскизе не изображается режущий инструмент, не записываются содержание операции или перехода и режимы обработки во всех случаях; при многоинструментальной обработке, когда в одной наладке работает много инструментов, на операционных эскизах необходимо показывать режущий инструмент в конечном при обработке положении. При выполнении операции на многопозиционных станках нужно составлять эскизы на каждую рабочую позицию с указанием «Позиция № …». Выполняются КЭ по формам ГОСТ 3.1105-84 (7 и 7а).

Операционные карты технического контроля оформляют по ГОСТ 3.1502-88 (2 и 2а). В графе «Наименование операции» заполняется номер операции и ее название, например: «025 Контрольная». В графе «Наименование, марка материала» - данные по материалу детали, а в графе «МД» - массу детали в системе единиц, принятых в маршрутной карте. В графе «Наименование оборудования» - название используемого оборудования для контроля, например: «Стол контролера», «Испытательный стенд» и т.д. В графе «Контролируемый параметр» - наименование размера, подлежащего контролю: «Диаметр шейки $\varnothing 50^{+0,62}_{+0,16}$». «Код средства ТО» - кодовое обозначение или ГОСТ, ОСТ и др. документы, определяющие используемую контрольную оснастку, например «ГОСТ 166-84». «Наименование средств ТО» - название применяемого контрольного инструмента, приспособления и т.п. Например: «Штангенциркуль ШЦ-1, 0-125».

В графе «объем и ПК» данные записываются дробно: в числителе объем контроля в процентах, в знаменателе – промежуток времен, через который производить контроль (для массового производства) или объем партии, поступающей на контроль (для серийного производства).

III. Контроль знаний

Контроль знаний 1-й семестр

1.Цели и задачи изучения технологии ПИМН.

2.Этапы развития технологии.

3.Изделие и его элементы.

4.Основные понятия о производственном и технологическом процессах.

5.Типы производства.

6.Точность механической обработки и методы ее обеспечения. Метод пробных ходов и промеров.

7.Метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках.

8.Экономическая и достижимая точность.

9.Погрешности механической обработки. Причины, вызывающие погрешности размеров.

10. Деформация упругой системы СПИД.

11. Неточность и износ инструмента

12. Температурная деформация в системе СПИД.

13. Ограниченная возможность срезания тонкого слоя материала.

14. Неточность механизма настройки на размер.

15. Неточность настройки станка.

16. Погрешность установки заготовки на станке.

17. Причины, вызывающие погрешность формы и взаимного расположения поверхностей. Деформация упругой системы СПИД.

18. Колебания и вибрации, действующие в системе СПИД.

19. Неточность станка и профильного инструмента.

20. Упругая деформация заготовки.

21. Действия внутренних напряжений.

22. Законы рассеяния (распределения) размеров: законы Гаусса, Симпсона, закон равной вероятности, закон Релея.

23. Оценка точности механической обработки партии деталей. Виды погрешностей, возникающих при механической обработке: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся, случайные.

24. Основные направления обеспечения точности механической обработки. Методы настройки станков.

25. Расчеты режимов резания, обеспечивающих требуемую точность и высокую производительность обработки.

26. Управление точностью обработки.

27. Влияние шероховатости поверхности на эксплуатационные поверхности детали.

28. Влияние физико-механических характеристик поверхностного слоя на эксплуатационные характеристики детали.

29. Методы оценки точности механической обработки (метод периодического построения кривых распределения действительных размеров обработанных заготовок; метод построения точечных диаграмм).

30. Техническая и технологическая подготовка к производству выпуска новых изделий.
31. Основные этапы проектирования технологического процесса.
32. Виды и формы тех. процессов.
33. Типизация тех. процессов и групповая обработка.
34. Сравнение методов типизации ТП и групповой обработки.
35. Выбор метода получения заготовки.
36. Базирование и базы. Общие понятия, термины, определения.
37. Базирование и базы. Опорная точка, технологическая, установочная, измерительная базы, комплект баз, погрешности базирования и установки.
38. Выбор технологических баз. Принцип совмещения баз. Принцип единства баз. Черновые, чистовые базы. Правила выбора чистовых баз.
39. Припуски на механическую обработку.
40. Межоперационные припуски и допуски.
41. Расчет режимов резания.
42. Техническое нормирование тех. процесса.
43. Технологический процесс изготовления детали типа «Вал».

Контроль знаний 2-й семестр

1. Классификация и основные технологические свойства пластмасс
2. Способы формирования изделий из пластмасс в вязкотекучем и пластичном состоянии (прямое (компрессионное) и литьевое прессование, литье под давлением и выдавливание (экструзия)).
3. Дутьевое и вакуумное формование
4. Получение деталей из композиционных пластиков
5. Сварка пластмасс (нагретым газом; нагретым инструментом; нагретым присадочным материалом).
6. Основные сведения об электрофизическом и электрохимическом методах обработки материалов
7. Электроэрозионная обработка материалов.
8. Основные технологические схемы ЭЭО (прошивание, электроэрозионное шлифование, разрезание профильным и непрофилированным инструментом, электроэрозионное уплотнение),
9. Технологические процессы с применением ЭЭО: удаление обломков инструмента, окончательной обработки прецизионных отверстий, прошивании глубоких цилиндрических отверстий.
10. Технологические процессы с применением ЭЭО: прошивание различных соединительных каналов в корпусах гидро- и пневмоаппаратуры, маркирование деталей, шлифование.
11. Размерная электрохимическая обработка материала: достоинства, недостатки, механизм анодного растворения.

12. ЭХО: метод пассивации анода, механизм пассивации поверхности металла

13. Технологические схемы размерной ЭХО: обработка с неподвижными электродами, прошивание полости, углублений, отверстий, точение, протягивание, разрезание, шлифование.

14. Технологические показатели размерной ЭХО: производительность, точность, качество поверхности.

15. Примеры применения размерных схем ЭХО (маркирование, удаление заусенцев, формирование внутренних полостей, точение нежестких деталей, прошивание отверстий с криволинейной осью, протягивание).

16. Электроннолучевая обработка материала (основные стадии формирования электрического луча и применяемого оборудования).

17. Электроннолучевая обработка материала (взаимодействия электронного луча с веществом).

18. Электроннолучевая обработка материала (особенности электронного луча как технологического инструмента).

19. Применение электроннолучевой обработки (электроннолучевая сварка,

размерная ЭЛО, ЭЛ испарение материалов).

20. Лазерная или светолучевая обработка: условия получения лазерного излучения, основные схемы ОКГ (твердотельные, газовые, полупроводниковые).

21. Взаимодействие излучения ОКГ с обрабатываемым веществом.

22. Применение технологии светолучевой обработки материалов (плавление, сварка, резка и размерная обработка).

23. Плазменная обработка материала. Устройства для получения плазмы. Виды плазменных источников энергии.

24. Технологическое применение плазмы (плазменный нагрев, плавление, сварка и наплавка, напыление, резка).

25. Магнитно-абразивная обработка материалов: сущность и особенности процесса достоинства, недостатки.

26. Магнитно-абразивные порошки и СОЖ для магнитно-абразивной обработки.

27. Технологические схемы магнитно-абразивной обработки (финишная обработка, обработка фасонных поверхностей, малогабаритных деталей и т. д.)

28. Технологии изготовления витых цилиндрических пружин, спиральных пружин и волосков.

29. Изготовление плоских пружин, мембран, сильфонов, трубчатых манометрических пружин.

30. Изготовление вращательных стоматологических инструментов (зубные боры, стоматологические фрезы и алмазные головки)

31. Основные этапы изготовления зубных боров, стоматологических фрез и алмазных головок.

32. Изготовление шприцев однократного применения.

33. Изготовление инъекционных игл.

34. Технология изготовления стентов.

35. Назначение стентов и требования к материалам для их изготовления.

36. Механизмы эффектов памяти формы и сверхупругости материалов, используемых для изготовления стентов.

37. Методы изготовления стентов.

38. Основные сведения об имплантатах, предъявляемых к ним требованиях и применяемых для их изготовления материалах.

39. Основные факторы, влияющие на протекание процесса интеграции имплантата в организме человека

40. Основные методы модифицирования поверхности металлических имплантатов.

41. Технология изготовления контактных линз.

42. Материалы для изготовления контактных линз и предъявляемые к ним требования.

43. Изготовление мягких контактных линз методом центробежного формования. Изготовление мягких контактных линз точением.

44. Изготовление мягких контактных линз литьем. Изготовление мягких контактных линз обратным реверсивным процессом.

IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Перечень учебников и учебных пособий, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе

Основная литература

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов /А.А. Маталин. - 2-е изд., испр. - СПб: издательство «Лань», 2010. - 512 с.

2. Технология производства изделий медицинского назначения / Лабораторный практикум. В 2-х частях.; сост. М.Г. Киселев (и др.) – Минск: БНТУ, 2018.- 323 с.

3. Технология приборостроения (Электронный ресурс): учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-38 01 01 "Механические и электромеханические приборы и аппараты" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Конструирование и производство приборов"; сост. А. В. Дроздов. – Электрон. дан. – Минск: БНТУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

4. Жолобов, А.А. Технология машиностроения: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по группе специальностей "Машиностроительное оборудование и технологии": в 2 ч. / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Минск: РИВШ, 2020. - Ч. 2 : Высокоэффективные технологии и оборудование современных производств. – 479 с. (14 экз.)

5. Звонцов, И.Ф. Разработка технологических процессов изготовления

деталей общего и специального машиностроения: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Машиностроение" / И. Ф. Звонцов, К. М. Иванов, П. П. Серебреницкий. – Изд. 2-е, стереотипное. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар: Лань, 2019. – 695 с.

6. Гибсон, Ян. Технологии аддитивного производства: (трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство): пер. с англ.

/ Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер; перевод с английского (2-го издания базового курса) под редакцией И. В. Шишковского; (послесловие А. Г. Григорьянца). – Москва: Техносфера, 2016. – 646, (1) с. (2 экз.)

7. Берлинер, Э.М. САПР в машиностроении / Э.М. Берлинер, О.В. Таратынов.- М.: ФОРУМ, 2011. – 448 с.

8. Проектирование технологических процессов в машиностроении. Учебное пособие для вузов. / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро др. Под общ. ред. И.П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.

9. Фельдштейн, Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: ООО Новое знание, 2005. – 287 с.

10. Технология приборостроения: учеб. пособие / В.А. Валетов (и др.); - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 336 с.

11. Идельсон, М.И. Технология оптико-механического приборостроения: Учебник / М.И. Идельсон, И.А. Бойцова, М.В. Иванова. – Л.: Машиностроение, 1981. – 278 с.

12. Справочник технолога-машиностроителя. В2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. -М.: Машиностроение, 1985г.

Дополнительная литература

1. Ачкасов, Н.А. Технология точного приборостроения: Учебник / Н.А. Ачкасов, В.С. Терган, В.И. Козлов. – М.: Высш. школа, 1981. – 351 с.

2. Хейфец, М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 154 с. (1 экз.)

3. Суслов, А.Г. Основы технологии машиностроения: учебник /А.Г. Суслов. -М: КНОРУС, 2013.-288 с.

4. Клименков, С.С. Инновационные технологии в машиностроении: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности магистратуры "Инновационные технологии в машиностроении" / С. С. Клименков, В. В. Рубаник; Национальная академия наук Беларуси, Институт технической акустики, Витебский государственный технологический университет. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 403 с. (5 экз.)

5. Гаврилов, А.Н. Технология авиационного приборостроения: Учебник / А.Н. Гаврилов. – М.: Машиностроение, 1981. – 480 с.: ил.

6. Сыроватченко, П.В. Справочник технолога-приборостроителя: В 2 т. Т. – 2-е изд. / Под ред. П.В. Сыроватченко. – М.: Машиностроение, 1980. – 607 с.

7. Материалы для медицинской техники: Терминологический словарь (Электронный ресурс): учебное пособие / О.Н. Савинкова; Оренбург. гос. ун-т – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2017.

8. Киселев, М.Г. Ультразвук в медицине / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, Д.А. Степаненко – Минск: БНТУ, 2009. – 428с.

9. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002 – 334 с.

10. Современные медицинские инструменты (Электронный ресурс): учебное пособие / В.П. Вейнов, И.Н. Мусин, Э.В. Сахабиева. – Электрон. текстовые данные. - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016.- 108 с.

11. Филонов, О.М. Технология производства электронно-медицинских приборов / О.М. Филонов – Л.: ЛЭТИ, 1981. – 89 с.