



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Учебно-методический комплект

**по дисциплине «Технологическая подготовка
производства (ТПП)»
Конспект лекций**

МГТУ имени Н.Э. Баумана

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)



Факультет Информатика и системы управления (ИУ)

Кафедра Проектирование и технология производства электронной аппаратуры (ИУ-4)

Курс **Технология производства электронных средств**

Дисциплина **Технологическая подготовка производства**

для направления подготовки 11.03.03 – конструирование и технология электронных средств, уровень бакалавриата.

Преподаватель Л.В.Журавлева

Москва, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Словарь технических терминов

Тема 1 Конструкторско-технологические особенности электронных средств

Тема 2 Производственная гигиена

Тема 3 Техническая документация

Тема 4 Задачи, которые решает технолог

Тема 5 Производственные подразделения

Тема 6 Виды изделий

Тема 7 Качество изделий

Тема 8 Технологические методы обеспечения качества изделий

Тема 9 Методы оценки технологичности

Тема 10 Проектирование технологических процессов

Тема 11 Типы производства

Вопросы экзаменационных билетов

Список литературы

Введение

Электронное средство (ЭС) – изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы электроники. Если в основе функционирования ЭС используются дополнительно принципы радиотехники, то такое электронное средство называется радиоэлектронным средством, а если принципы вычислительной техники – электронно – вычислительным средством.

Изделия электронной техники представляют собой совокупность различных деталей (деталей механической и химической обработки, электрорадиоэлементов, интегральных схем, сборочных единиц и т.п.), объединенных в блоки и устройства и предназначенных для приема, преобразования, кодирования, обработки и передачи различной информации.

Детали, рассчитанные на совместную работу в изделии электронной техники, различают по функциональным, техническим и конструктивно - технологическим признакам.

Блоки и устройства, входящие в изделия электронной техники, представляют собой автономную часть и имеют, как правило, определенное функциональное назначение (источник питания, процессор, оперативное запоминающее устройство и т.д.). Назначение средств электронной техники определяет состав устройств и технические требования к ним (точность выходных параметров, быстродействие, объем памяти и т.д.).

Кроме технических требований к изделиям ЭТ предъявляются также и конструктивно – технологические требования. К ним относятся требования соблюдения функционально – узлового принципа конструирования, технологичности конструкции, эксплуатационные и другие требования, которые в значительной мере зависят от назначения изделий ЭТ.

Функционально – узловой принцип конструкции основан на объединении функционально законченных схем в узлы и их модульной компоновке, минимальных габаритах, ремонтпригодности, защиты от внешних воздействий, высокой степени унификации и стандартизации. Конструкции изделий включают большое количество электрорадиоэлементов, интегральных микросхем различной степени интеграции, микросборок и др., а в качестве средств коммутации используются печатные платы, выполняющие также функции несущей конструкции и электрического соединения элементов.

Словарь технических терминов

Технологический процесс – это действие, направленное на изменение и (или) определение состояния предмета труда

Технологическим процессом сборки называется совокупность операций по соединению, координированию, фиксации, закреплению деталей и сборочных единиц (СЕ) для обеспечения их относительного положения и движения, необходимого функциональным назначением сборочной единицы (СЕ) и общей сборки (ОС) устройства. Трудоемкость процессов сборки в общем объеме производства современных приборов составляет 30-50%. Сборочный процесс охватывает механическую сборку деталей, сборку электроэлементов и монтаж их пайкой, наладку и регулировку, а также контрольные проверочные операции

Сборка - это образование разъемных или неразъемных соединений составных частей, узлов или других изделий

Узловая сборка - это сборка, объектом которой является составная часть изделия

Общая сборка - это сборка, объектом которой является изделие в целом

Комплектующие изделия – это изделия предприятия-поставщика, применяемые как составная часть изделия выпускаемого предприятием

Сборочный комплект – группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составных части.

Виды изделий:

- деталь;
- сборочная единица;
- комплект;
- комплекс.

Деталь – изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций (например, валик из одного куска металла, печатная плата, резок провода заданной длины). К этому виду изделий относятся также детали, подвергнутые покрытиям (защитным и декоративным) независимо от вида, толщины и назначения покрытия или изготовленные с применением местной сварки, пайки, склейки, сшивки и т.п. (например, хромированный винт, трубка, сваренная из одного куска листового материала)

Сборочная единица - это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии изготовителе (свинчиванием, клепкой, сваркой и т.д.). Это понятие адекватно понятию "узел", реже "группа", но может быть и законченным изделием. Следует учесть, что технологическое понятие "сборочная единица" шире конструкторских терминов, т.к. может быть разбита на несколько единиц при разработке технологического процесса.

Комплект – два или более изделия, не соединенных на предприятии – изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, инструмента или принадлежностей и т.п.).

Комплекс – два или более специфицированных изделий, не соединенных на предприятии – изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (станок с программным управлением, вычислительная машина и т.п.).

Сборочная технологическая операция - это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Основными элементами технологических операций являются установ, технологический переход (переход), вспомогательный переход, рабочий ход, вспомогательный ход и др.

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

Технологический переход (переход) – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Например, закрепление заготовки, смена инструмента и т.д.

Рабочий ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров и качества поверхности или свойств заготовки.

Вспомогательный ход - законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки и необходимого для подготовки рабочего хода.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции (например, обработка в приспособлении, на монтажном столе).

Средства технологического оснащения – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса

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

Приспособление – технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда или инструмента при выполнении технологической операции

Инструмент – технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на предмет труда с целью изменения его состояния

Рабочее место – часть производственной площади, оснащенной основным технологическим и вспомогательным оборудованием и средствами, закрепленными за рабочим для выполнения операции

Такт выпуска – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнений.

Тема 1 Конструктивно – технологические особенности электронных средств

Электронное средство (ЭС) – изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы электроники. Если в основе функционирования ЭС используются дополнительно принципы радиотехники, то такое электронное средство называется радиоэлектронным средством, а если принципы вычислительной техники – электронно – вычислительным средством.

Изделия электронной техники представляют собой совокупность различных деталей (деталей механической и химической обработки, электрорадиоэлементов, интегральных схем, сборочных единиц и т.п.), объединенных в блоки и устройства и предназначенных для приема, преобразования, кодирования, обработки и передачи различной информации.

Детали, рассчитанные на совместную работу в изделии электронной техники, различают по функциональным, техническим и конструктивно - технологическим признакам.

Блоки и устройства, входящие в изделия электронной техники, представляют собой автономную часть и имеют, как правило, определенное функциональное назначение (источник питания, процессор, оперативное запоминающее устройство и т.д.). Назначение средств электронной техники определяет состав устройств и технические требования к ним (точность выходных параметров, быстродействие, объем памяти и т.д.).

Кроме технических требований к изделиям ЭТ предъявляются также и конструктивно – технологические требования. К ним относятся требования соблюдения функционально – узлового принципа конструирования, технологичности конструкции, эксплуатационные и другие требования, которые в значительной мере зависят от назначения изделий ЭТ.

Функционально – узловой принцип конструкции основан на объединении функционально законченных схем в узлы и их модульной компоновке, минимальных габаритах, ремонтпригодности, защиты от внешних воздействий, высокой степени унификации и стандартизации. Конструкции изделий включают большое количество электрорадиоэлементов, интегральных микросхем различной степени интеграции, микросборок и др., а в качестве средств коммутации используются печатные платы, выполняющие также функции несущей конструкции и электрического соединения элементов.

Базовые конструкции изделий ЭТ имеют несколько уровней модульности, предусматривающих объединение простых модулей в более сложные.

Нулевой уровень представляют бескорпусные микроэлементы, используемые в интегральных микросхемах резисторы, транзисторы, конденсаторы, диодные матрицы, бескорпусные интегральные схемы частного и общего применения, фрагменты схем, выполненные по полупроводниковой технологии.

Первый уровень представляют интегральные схемы, загерметизированные в корпуса со штыревыми или планарными выводами широкого применения, бескорпусные гибридные интегральные схемы или микросборки, транзисторы и диоды в корпусах, конденсаторы в дискретном исполнении.

Тема 2 Производственная гигиена

Современные приборы комплектуются деталями и изделиями электронной техники, изготовления которых, даже при правильно выбранной технологии, немислимо без соблюдения производственной гигиены. *Производственная гигиена* представляет собой комплекс мероприятий, обеспечивающих оптимальные условия производства.

Чтобы обеспечить выполнение требований производственной гигиены, необходимо правильно выбрать район расположения предприятия; конструкцию зданий; размещение административных и производственных (основных и вспомогательных) помещений; обеспечить в помещениях соответствующие условия, а также провести организационные мероприятия, направленные на выполнение правил производственной гигиены работающими.

Требования к производственным помещениям по чистоте воздушной среды, в которых располагаются заготовительные, вспомогательные производства; цехам, в которых выполняются формообразующие и сборочные процессы; транспортным, складским помещениям, определяются санитарными нормами СН 245 – 81. Однако производство надежных и долговечных полупроводниковых приборов и интегральных схем требуют специальных условий производства, что вызвано следующими особенностями полупроводниковых приборов.

1. Миграция примесных ионов щелочных металлов (Li, Na, K) вызывает нестабильность параметров в структурах металл – диэлектрик – проводник. Наиболее опасен литий, он обладает большой подвижностью, но мало распространен в природе и его количество в оксидах невелико. Натрий имеет несколько меньшую подвижность, но в виде примесей он присутствует во всех реактивах, неметаллах, воде и воздухе. Кроме того, человек, особенно его руки, является источником загрязнения натрием. Подвижность калия в 10 раз меньше подвижности натрия, и калия в природе меньше, чем натрия.

2. За счет проникновения молекул воды в оксид при нагреве и охлаждении полупроводниковых приборов в интервале температур 150...400°С происходит изменение параметров полупроводникового прибора. Процесс насыщения оксида влагой (гидратация) происходит при охлаждении загерметизированного прибора, а процесс испарения влаги (дегидратация) - при нагреве.

3. Геометрические размеры элементов полупроводниковых приборов соизмеримы с размерами частиц пыли в производственном помещении.

4. На работу полупроводниковых приборов влияет статическое электричество.

Условия производства полупроводниковых приборов и интегральных схем определяются требованиями электронной гигиены¹⁾.

¹⁾ Гигиена – целебный, приносящий здоровье. Рассматривает влияние окружающей среды на работоспособность и продолжительность жизни и мероприятия, направленные на обеспечение этих условий.

Электронная гигиена. Электронная гигиена – это комплекс обязательных требований, средств и мероприятий, направленных на создание оптимальных условий производства. Все требования электронной гигиены изложены в ОСТ 11.091.353 – 88.

Различают гигиену производственных объектов, микроклимат, технологическую гигиену, гигиену производственного персонала.

Г и г и е н а п р о и з в о д с т в е н н ы х о б ъ е к т о в - это часть электронной гигиены, которая содержит требования к сооружениям производственных помещений; сооружениям бытовых помещений; применению специальной отделки; правилам размещения зданий; уборке территории. Соблюдение требований электронной гигиены обеспечивается созданием чистых помещений. Стоимость оснащения таких производственных помещений очень высока.

Для сооружения чистых комнат используются материалы, обладающие низким пылеотделением и гладкой поверхностью, на которой пыль не осаждаётся. Пол обычно застилают безосновным рулонным релином или пластиком. Решетки, через которые удаляется отработанный воздух, изготавливают из нержавеющей стали. Стены изготавливают из стекла, анодированных алюминиевых сплавов, пластмасс и слоистых пластиков. Шумовыделение и теплопередачу снижают, выполняя стеновые панели с двойной обшивкой и двойным остеклением. Потолок закрывают перфорированной декоративной решеткой, через которую подается очищенный воздух. Такие решетки изготавливают из стеклоэфиропласта, который в отличие от оргстекла не электризуется.

Требования к чистым помещениям и чистым зонам определяются стандартом ГОСТ Р 50766 – 95 «Помещения чистые. Классификация. Методы аттестации».

Стандарт устанавливает классы чистоты чистых помещений и чистых зон в зависимости от аэрозольного и, при необходимости, от микробного загрязнения воздуха в них. Стандарт устанавливает также основные требования, порядок и периодич-

ность аттестации и текущего контроля чистых помещений и чистых зон по загрязнению и по другим параметрам, состав и требования к которым устанавливаются другими нормативными документами в соответствии с настоящим стандартом. Стандарт не распространяется на оборудование и средства оснащения, которые используются в чистых помещениях. Стандарт также не нормирует требования и классы чистых помещений по физическим, химическим и радиологическим свойствам частиц и количество живых микроорганизмов в воздухе.

Чистым помещением называется помещение, в котором счетная концентрация аэрозольных частиц и, при необходимости, число микроорганизмов в воздушной среде поддерживаются в пределах не выше заданного, соответствующего определенному классу чистоты, и которое может содержать одну или несколько чистых зон.

Чистая зона представляет собой ограниченное пространство, в котором счетная концентрация аэрозольных частиц и, при необходимости, число микроорганизмов в воздушной среде поддерживаются в пределах не выше заданного, соответствующего определенному классу чистоты; чистая зона может быть открытой или замкнутой и может находиться, или не находиться внутри чистого помещения.

Частицей называется твердый, жидкий или многофазный объект, в том числе и микроорганизм, с размерами от 0,005 до 100 мкм. Для классификации чистых помещений рассматриваются частицы в диапазоне размеров от 0,1 до 5 мкм.

Размером частицы называется максимальный линейный размер частицы в плоскости наблюдения оптического или электронного микроскопа или эквивалентный диаметр частицы, определенный средствами измерений. Эквивалентный диаметр соответствует диаметру сферической частицы с известными свойствами, оказывающий такое же воздействие на средство измерения, что и измеряемая частица.

Класс чистоты чистого помещения (чистой зоны) характеризует запыленность воздуха чистого помещения или чистой зоны и задается классификационным числом N , которое определяет допустимую счетную концентрацию аэрозольных частиц определенного размера в 1 м³ воздуха в соответствии с п.1, и, при необходимости, допустимым микробным загрязнением в соответствии с п.2.

1. Предельно допустимая счетная концентрация аэрозольных частиц C_n с размерами равными и большими, чем определенный размер D , для классификационного числа N задается выражением:

$$C_n = 10^N \times (0,1 / D)^{2,08} \text{ и округляется до целого числа,}$$

где D – размер частиц в мкм; 0,1 – постоянная с размерностью мкм.

Соответствующие значения C_n для целых классификационных чисел N и определенных значений размеров частиц D показаны в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 Предельно допустимая счетная концентрация аэрозольных частиц C_n

Классификационное число N	Предельно допустимая счетная концентрация частиц C_n (частиц/м ³) размером равным и превышающим размер частиц D (мкм)						МК
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0	
0	1	нд	нд	нд	нд	нд	нд
1	10	2	нд	нд	нд	нд	нд
2	100	24	10	4	нд	нд	нд
3	1000	237	102	35	8	нд	нд
4	10000	2365	1018	352	83	нд	нд
5	100000	23651	10176	3517	832	29	5+
6	1000000	236514	101763	35168	8318	293	50
7	нк	нк	нк	351676	83176	2925	100
8	нк	нк	нк	3516757	831764	29251	500
9	нк	нк	нк	35167572	8317638	292511	нк
q	1,0	4,23	9,83	28,44	120,23	3418,67	

Обозначения в таблице: МК – предельно допустимое количество микроорганизмов (шт/м³); нк – счетная концентрация частиц данного размера для данного класса не контролируется; нд – частиц указанного и больших размеров в воздухе чистого помещения не должно быть; 5+ - класс Р 5(100) подразделяется на два подкласса: А и В; q – коэффициент, который определяется их выражения: $q = (D/0,1)^{2,08}$.

2. Класс чистоты чистого помещения (чистой зоны) обозначается следующим образом:

Класс	Р X	(XXX)	X X	МК	(X)
1	2	3	4	5	6

1 – обозначение класса по стандарту; 2 – классификационное число; 3 – в скобках может добавляться ранее принятое обозначение класса чистого помещения в соответствии с ОСТ 11.14.3302; 4 – минимальный размер частиц в мкм, по которому определялась счетная концентрация частиц; 5 – МК- элемент, обозначающий проведение контроля микробного загрязнения; 6 – обозначение подкласса А или В (только для класса Р 5 (100)).

Пример. Класс Р 5 (10) 0,3 МК (А).

Аттестация чистых помещений (чистых зон) на класс чистоты – это процедура проверки соответствия фактического значения счетной концентрации частиц N и, при необходимости, микробного загрязнения в воздухе чистого помещения (чистой зоны) нормам, установленным для этого класса стандартом.

М и к р о к л и м а т - это часть электронной гигиены, содержащая требования к поддержанию в производственных помещениях, на рабочих местах заданных параметров температуры; влажности; запыленности; давления и др.

Т е х н о л о г и ч е с к а я г и г и е н а – это часть электронной гигиены, которая содержит требования к технологическим средам; оборудованию; инструменту; технологической таре; транспортировке и хранению изделий; регламенту и уборке помещений и рабочих мест.

В полупроводниковом производстве используют оборудование с тщательно изолированными механизмами, не имеющих щелей и углублений, чтобы сократить до минимума места скопления пыли. При конструировании оборудования не рекомендуется использовать материалы, способные из-за электризации притягивать частицы пыли. Источники генерации аэрозольных частиц в оборудовании должны быть локализованы и снабжены вытяжными устройствами. Расстояние между нижней точкой оборудования и полом должно быть достаточным для проведения уборки. Внешнее покрытие оборудования должно подбираться и оцениваться по следующим параметрам: электропроводность (достаточная для уменьшения электростатического заряда до 0,5 от первоначального значения за время не более 0,1с); адгезия к основному материалу; износостойкость; химическая стойкость; твердость; коррозионная стойкость; цвет (предпочтительным цветом окраски оборудования является светло – зеленый и светло – голубой).

Оборудование перед монтажом в чистое помещение должно пройти проверку на соответствие классу чистоты этого помещения.

Рабочие места в чистом помещении оборудуются скафандрами (боксами), в которых создается направленный поток воздуха. *Однонаправленным потоком воздуха* называется поток воздуха с параллельными, как правило, струями (линиями тока), проходящими в одном направлении с одинаковой в поперечном сечении скоростью. *Неоднонаправленным потоком воздуха*¹⁾ называется поток воздуха, который не соответствует определению однонаправленного потока.

¹⁾ Употребляемые ранее термины «ламинарный» и «турбулентный поток» для характеристик потоков воздуха в чистом помещении применять не рекомендуется.

Г и г и е н а п р о и з в о д с т в е н н о г о п е р с о н а л а - это часть электронной гигиены, которая содержит требования к составу одежды; соблюдению личной гигиены; соблюдению внутреннего распорядка и т.д.

Производственный персонал должен тщательно соблюдать правила производственной гигиены. Находясь в чистом помещении, персонал должен пользоваться

специальной технологической одеждой. *Технологическая одежда* представляет собой комплект одежды и обуви, предназначенной для работающих в чистом помещении и предохраняющей изделия, оборудование, оснастку, инструмент и рабочее место от вносимых работающим персоналом загрязнений и статического электричества.

Спецодежду шьют из безворсовых тканей, чтобы с одеждой персонала не заносилась пыль в чистые помещения. В гермозоне персонал работает в хромовых тапочках на кожаной подошве. Спецодежда и личная одежда хранится в индивидуальных шкафчиках, установленных в специально отведенных местах. От работающих требуется правильное ношение спецодежды; протирка рук, рабочего места и инструмента спиртом; соблюдение технологической дисциплины и ограниченное движение в производственных помещениях.

Изготовленные детали, полуфабрикаты и сборки необходимо хранить в специальной таре; скафандрах, заполненных инертным газом; вакуумных шкафах.

Непосредственно перед работой и во время работы запрещается пользоваться косметическими средствами.

Чтобы исключить попадание жировых загрязнений на изделия, работники должны пользоваться резиновыми напальчниками, перчатками и пинцетами.

Требования электронной гигиены распространяются на все виды работ, включая и ремонт оборудования. Если ремонт технологического оборудования невозможен вне основного производственного помещения и связан с выделением значительных загрязнений, его проводят в нерабочее время.

Тема 3 Техническая документация

Производство изделий электронной техники осуществляется в соответствии с нормативно - технической документацией (стандартами) и технической документацией (конструкторской и технологической).

Стандарты. *Стандартом* называется нормативно – технический документ, устанавливающий единицы величин; термины и их определения; требования к продукции и производственным процессам; требования, обеспечивающие безопасность людей и материальных ценностей и т.д. На основании стандартов осуществляется стандартизация в государственном масштабе, в соответствии с которой устанавливаются единые нормы и требования, предъявляемые к сырью, полуфабрикатам, материалам, производственным процессам, готовым изделиям и т.д.

В России действует Государственная общетехническая система стандартов, к которой относятся Единая система технологической подготовки производством (ЕСТПП); Единая система конструкторской документации (ЕСКД); Единая система технологической документации (ЕСТД); Единая система программной документации

(ЕСПД); Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ); Единая система аттестации качества продукции и др.

Одним из основных способов повышения качества является комплексная стандартизация, начиная от применяемых материалов и кончая эксплуатацией готовых изделий. Перечень контролируемых параметров изделий, условия изготовления, хранения, транспортирования, проведения испытаний, эксплуатации оговариваются в стандартах общих технических условий, частных технических условий, технических условиях на изделия и специальных требованиях предприятия.

Стандарты общих технических условий (ОТУ) являются государственными стандартами, разрабатываются на группы однотипных изделий, для которых возможно и целесообразно установить единые нормы показателей качества, и содержит общие требования и положения, справедливые для этой группы изделий.

Общие технические условия на изделия электронной техники устанавливают:

- общие электрические, механические и климатические требования, методы проверок;
- требования к конструкции изделий и специальные требования к их производству;
- методы проведения электрических, механических и климатических испытаний на надежность;
- требования к конструкторской и технологической документации, используемой в производстве изделий, порядок применения материалов и полуфабрикатов;
- правила приемки и контроля качества изделий;
- требования к испытательным установкам, стендам и измерительным приборам;
- требования к маркировке и упаковке изделий;
- гарантии предприятия – изготовителя изделий.

Стандарты частные технические условия (ЧТУ) являются, как правило, отраслевыми стандартами и представляют собой довольно многочисленную группу стандартов и содержат нормы на значения параметров и специфические требования, относящиеся к конкретному типу изделий.

Частные технические условия на изделия электронной техники устанавливают:

- основное назначение изделия;
- нормы на значения параметров для нормальной и предельной температур окружающей среды;
- режимы проведения различных видов испытаний;
- нормы на параметры критерия годности при испытаниях;
- предельно допустимые значения электрических режимов и их зависимость от температуры.

Стандарты частных технических условий на приборы и изделия электронной техники содержат также указания и рекомендации по эксплуатации изделий. В их состав входит также габаритный чертеж изделий и основные справочные данные в виде типовых зависимостей важнейших параметров от рабочего режима и температуры.

Частные технические условия могут содержать пункты, уточняющие общие технические условия исходя из особенности данного типа изделия.

Стандарты технических условий (ТУ) являются основным документом, по которому осуществляется контроль качества выпускаемых изделий на предприятии – изготовителе, и на основании его по результатам испытаний принимается решение о пригодности этих изделий к поставке и последующему использованию. На их основе решаются также все спорные вопросы между потребителем и изготовителем изделий.

Технические условия представляют собой документ, входящий в комплект технической документации на промышленную продукцию (изделие), в котором указываются комплекс технических требований к продукции; правила приёмки и поставки; методы контроля; условия эксплуатации, транспортирования и хранения. Технические требования определяют основные значения параметров, свойства или эксплуатационные характеристики изделия, показатели качества продукции, комплектность изделия и т. д.

В разделе о правилах приёмки и поставки указываются порядок и условия проведения контрольных испытаний при предъявлении продукции к сдаче заводом - изготовителем и приёмке её заказчиком.

В разделе о методах контроля (измерений, испытаний, анализов) устанавливаются способы определения всех параметров и характеристик продукции, соответствующих норм, требований; правила отбора образцов или проб; выбора оборудования, приборов, материалов и реактивов; методика подготовки и проведения испытаний, анализов, измерений и способы обработки результатов. Для случая использования визуальных методов контроля качества изделий технические условия содержат описание образцов внешнего вида.

В разделе об условиях эксплуатации, транспортирования и хранения содержатся указания о монтаже, установке и применении продукции; правила её упаковки и транспортирования; место, условия и сроки хранения. Иногда в технические условия включаются операционные карты для выполнения отдельных операций, при выполнении которых на неоптимальных режимах может привести к нарушению целостности конструкции.

В состав технических условий входит комплект конструкторской документации, содержащий сборочные чертежи и чертежи на детали, входящие в изделие.

Стандарты специальных требований предприятия (СТП) устанавливают требования к различным сферам деятельности предприятия, связанным с выпуском продукции. Специальные требования предприятий разрабатываются в соответствии с государственными, отраслевыми стандартами, общими и частными техническими условиями.

Технологические процессы разрабатываются на бумажных носителях, формы которых определяются требованиями государственных стандартов в составе единой

системы технологической документации. Различные виды технологических документов оформляются на различных формах, что зависит от вида изделия, типа производства, характера выполняемых работ. В стандарт предприятия включают те формы технологических документов, которые используются для конкретных производств, что облегчает работу специалистов при разработке технологической документации, регистрации и архивации подлинников документов.

Например, после выполнения каждой операции заполняется сопроводительный лист, в котором указывается номер партии, количество изделий в партии, количество годных и бракованных изделий, дата выполнения операции, подпись исполнителя и, если необходимо, контролера отдела технического контроля. Форма сопроводительного листа определяется особенностями изделия, технологического процесса, видом приемки, количеством и местом контрольных операций в технологическом процессе. Эти особенности учитываются технологами при разработке сопроводительного листа, форма и требования к которому вносятся в стандарт предприятия. Сопроводительному листу присваивается код в соответствии с классификатором и регистрационный номер в отделе технической документации. Изменения в стандарт предприятия вносятся извещением в установленном порядке.

Стандарты типовых технологических процессов разрабатываются для определенных методов (методы химической обработки полупроводниковых пластин; методы фотолитографии; методы получения тонких пленок; методы микросборки; методы герметизации микросхем и др.) или технологических процессов (ТП изготовления гибридно – пленочных интегральных схем; ТП изготовления полупроводниковых интегральных схем и др.).

Стандарты типовых технологических процессов содержат основные положения; технические требования; типовые технологические процессы (операции); методы контроля; требования техники безопасности; приложения (перечни оборудования, технологической оснастки, материалов, контрольно - измерительной аппаратуры и др.).

Раздел «Технические требования». В этом разделе устанавливаются требования:

- к условиям производства, электронной гигиене (требования к температуре, влажности, запыленности и др.), методам обеспечения, контроля и поддержания параметров микроклимата, режиму работы персонала;
- к условиям эксплуатации оборудования, способам наладки и подготовки оборудования к работе;
- к оснастке, технологической таре, способам хранения и очистки тары, химической посуды и т.п.;
- к основным и вспомогательным материалам, полуфабрикатам, к условиям их хранения, использования, утилизации отходов и контролю качества;

- требования к операциям и отдельным видам работ, выполняемым по стандартизируемым технологическим процессам; к техническим и технологическим характеристикам, которые проверяются при оценке качества изделия.

Раздел «Типовые технологические процессы»¹⁾. В этом разделе приводится:

- последовательность выполнения операций;
- описание операций и переходов;
- применяемое оборудование, оснастка, инструмент, материалы и т.п.

¹⁾Необходимо отличать стандарты типовых технологических процессов от типовых технологических процессов, которые разрабатываются для выпуска конкретных изделий в соответствии с годовой программой выпуска для конкретного производства с учетом рекомендаций стандартов типовых технологических процессов.

При необходимости приводятся эскизы, рекомендации по наладке и настройке оборудования.

Раздел «Требования техники безопасности». Для обеспечения максимальной безопасности работ при выполнении типовых технологических процессов соблюдаются следующие требования по технике безопасности:

- комплексная механизация и автоматизация производственного процесса; герметизация оборудования и гидро – и пневмотранспорта; пылящих материалов, используемых при эксплуатации оборудования;
- автоматическая сигнализация хода процесса и отдельных операций; встроенные местная или централизованная приточно – вытяжная вентиляция.

Раздел «Методы контроля». В этом разделе приводятся указания по контролю качества выпускаемой продукции с указанием оборудования, контрольно – измерительной аппаратуры и инструмента; справочные данные для пояснения и дополнения содержания стандарта.

Перечни оборудования содержат информацию об известных аналогах различных типов оборудования и их технических характеристиках (паспортная производительность; габаритные размеры; вес; условия эксплуатации и др.). Как правило, в стандартных типовых процессах содержатся перечни основного и вспомогательного оборудования, иногда приводятся методики расчета необходимого количества и т.д. На основании этих данных заполняются ведомости оборудования, маршрутные карты и операционные карты, входящие в комплект технологической документации.

Перечни оснастки содержат информацию об инструменте, приспособлениях, таре, которые производятся в соответствии с требованиями ГОСТов; серийно выпускаемой оснастке, изготовленной по техническим условиям. По желанию потребителя приобретаемое оборудование может комплектоваться соответствующим набором оснастки.

Например, к оснастке, изготовленной по ГОСТам, относятся вакуумные пинцеты, монтажные столики для микросварки, тара межоперационная и транспортировоч-

ная, химическая посуда, эксикаторы и др. По техническим условиям производят электроды для термокомпрессионной и ультразвуковой сварки; тару – спутник для функционального контроля.

Перечни материалов содержат информацию об основных и вспомогательных материалах. К основным материалам относятся те материалы, которые используются непосредственно в выпускаемом изделии. Вспомогательные материалы используются при выполнении технологического процесса дополнительно к основному.

Например, клеящие составы, которые используются для приклейки подложки на крышку корпуса, являются основными. Растворители для удаления излишков клея после выполнения операции приклейки, а также растворители, которые используют для отмычки фарфоровой посуды, в которой приготавливаются и хранятся клеящие составы, относятся к вспомогательным материалам.

В перечнях материалов приводятся нормы расхода материалов на определенную площадь поверхности или на единицу изделия (типовой представитель). Эти нормы расхода используются при разработке технологических процессов в производственных условиях для расчета количества материала, необходимого для изготовления программы выпуска продукции. В том случае, если использовать указанные в перечнях материалов нормы расхода не представляется возможным или в разрабатываемом технологическом процессе используется новый материал, который отсутствует в перечне, нормы расхода материала определяются на предприятии эмпирически. Для этого создается комиссия в составе технолога отдела главного технолога, цехового технолога, представителей отдела технического контроля и подразделения по материально – техническому снабжению. В присутствии комиссии оператор выполняет операцию в соответствии с требованиями технологического процесса на выборке изделий. По результатам опытных работ рассчитывается норма расхода материала на единицу изделия или переход операции и оформляется акт, на основании которого данные заносятся в операционную карту или технологическую инструкцию.

Например, многие операции при производстве изделий электронной техники выполняются в напальчниках, которые перед началом работы и в процессе работы протираются батистовой салфеткой, смоченной спиртом этиловым ректифицированным. При этом батистовая салфетка определенного размера, удобного в эксплуатации, используется многократно, поэтому экспериментально определяют количество протирок, которые можно выполнить с помощью одной салфетки.

Нормы расхода материалов, определенные на стадии технологической подготовки производства, корректируются в процессе освоения технологического процесса.

Типизация технологических процессов является важнейшим этапом стандартизации, которая предусматривает проведение следующих работ: группирование деталей и сборочных единиц по конструктивно – технологическим признакам; анализ

возможных технологических решений при изготовлении деталей и сборочных единиц, решая одновременно весь комплекс технологических задач.

Основным методом типизации технологических процессов является *метод технологической последовательности*, в основе которого лежит общность элементов технологического процесса (операций, переходов) применение однотипного оборудования, оснастки, инструмента и т.п., определяющих рациональные условия организации производства.

Типизация и стандартизация технологических процессов проводится в следующей последовательности.

1. Выбор типовых представителей деталей и сборочных единиц.
2. Изучение, анализ и выбор технологических процессов для изготовления типового представителя.
3. Определение последовательности операций и переходов технологического процесса.
4. Выбор оптимальных технологических операций, обеспечивающих технические требования к деталям и сборочным единицам.
5. Разработка стандарта на типовой технологический процесс.
6. Разработка плана мероприятий по внедрению стандарта и определение технико – экономических показателей от внедрения стандарта.

Основные понятия и положения в области оценки и обеспечения качества продукции и услуг, применяемые в международной и отечественной практике, определяются документами международных организаций ИСО, МЭК и Госстандарта Российской Федерации.

Международная организация по стандартизации (ИСО) – International Organization for Standardization – создана в 1947 году. Ее целью является содействие стандартизации в мировом масштабе. В состав ИСО входят национальные органы по стандартизации более 130 стран. Высшим руководящим органом ИСО является Генеральная Ассамблея совместно с Советом, Техническим руководящим бюро, Центральным секретариатом и секретариатами ТК и ПК. Генеральная Ассамблея представляет собой собрание высших должностных лиц ИСО (Президента, двух вице-президентов, Казначея и Генерального секретаря) и делегатов от комитетов-членов. Возглавляет Генеральную Ассамблею Президент ИСО. Официальные языки ИСО – английский, французский и русский. ИСО разрабатывает свои стандарты и другие документы на продукцию, терминологию, классификацию, организационную деятельность. При разработке стандартов на продукцию в ИСО особое внимание уделяется установлению требований к продукции по безопасности для жизни, здоровья людей, охране окружающей среды, технической совместимости, а также использованию единых методов испытаний. Стандарты ИСО охватывают почти все области техники, кроме областей, относящихся к МЭК. В фонде ИСО содержится более 12 тысяч стандартов.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) основана в 1906 году по решению Международного электротехнического конгресса, состоявшегося в 1904 году. Ее цель – содействие международному сотрудничеству в вопросах стандартизации и смежных проблемах в области электротехники, радиоэлектроники и связи. МЭК издает свои рекомендации и стандарты, которые используются в различных странах в работе по национальной стандартизации. Комиссией опубликовано более 4300 документов. С момента образования ИСО МЭК, сохранив автономность, стала, по существу, филиалом ИСО. Требования по безопасности являются важнейшими требованиями на продукцию, относящуюся к сфере деятельности МЭК. Стандарты МЭК имеют рекомендательный характер при применении их на внутренних рынках стран, не входящих в состав международной организации под названием Генеральное соглашение по тарифам и торговле – ГАТТ, в 1993 году преобразованной во всемирную торговую организацию – ВТО. Но они приобретают обязательный характер при выходе продукции на мировой рынок. Членами МЭК являются 56 стран, в том числе Россия, более ста предприятий которой участвуют в работе Комиссии. Госстандарт России выполняет функции Российского национального комитета по участию в МЭК. Официальными языками МЭК являются английский, французский и русский.

Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации – Госстандарт России – является органом государственного управления, на который государственными актами – законами - возложено управление стандартизацией (закон РФ «О стандартах») и обязательной сертификацией (законы РФ «О защите прав потребителей» и «О сертификации продукции и услуг»).

С Т А Н Д А Р Т Ы

№ п/п	Обозначение	Название	Применение	Примечания
1	ГОСТ (Р)	Регламент		
2	(ОТУ) ГОСТ	Государственный стандарт (Общие технические условия)	Группы однотипных условий	
3	(ЧТУ) ОСТ	Отраслевой стандарт (Частные технические условия)	Конкретные типы изделий	
4	ТУ	Технические условия	Конкретное изделие	
5	СТП	Специальные требования предприятий	Различные сферы деятельности предприятия	

6	ТПП	Типовые технологические процессы	Методы и технологические процессы	
7	РУК	Руководящие указания конструктора	Специалисты	

Тема 4 Задачи, которые решает инженер – технолог

Руководство технологической подготовкой производства осуществляет отдел главного технолога (ТБ ТПП).

1. ТБ ТПП разрабатывает структуру предприятия и Планы мероприятий по внедрению запланированных к производству изделий в соответствии с номенклатурным планом. План мероприятий охватывает все подразделения предприятия.
2. Выдает требования к условиям производства (изготовления изделий) и разрабатывает документы для создания условий производства.
- 3 . Разрабатывает Перечень необходимого оборудования для изготовления изделий, рассчитывает необходимое количество оборудования и разрабатывает техническое задание (ТЗ) для покупки оборудования. ТЗ отдает в отдел Главного механика (ОГМ).
- 4 . Разрабатывает Перечень необходимой оснастки (инструмента, приспособлений, тары). Разрабатывает ТЗ на покупку оснастки и отдает его в Отдел материально – технического снабжения (ОМТС). Если такая оснастка не продается, то разрабатывает ТЗ на конструирование оснастки и отдает его конструкторам.
- 5 . Разрабатывает Перечень необходимых материалов, рассчитывает, сколько нужно материала на одну штуку изделия (норма расхода материала) и отдает в ОМТС.
6. Разрабатывает Планировку размещения оборудования и отдает ее в Управление коммунального строительства (УКС), Отдел главного механика (ОГМ), Отдел главного энергетика (ОГЭ) (смотри Словарик, лекция 2).
- 7 . Разрабатывает технологический процесс (ТП), оптимизирует операции.
- 8 . Изготавливает опытный образец.
9. Разрабатывает Программу, по которой обучают рабочих.
10. Участвует в изготовлении группы (партии) изделий. Изделия изготавливают рабочие, а технолог анализирует и делает выводы о том, можно ли производить большое количество таких изделий.
11. Участвует в анализе бракованных изделий, определяет причины , из-за которых изделия не соответствуют технической документации и решает, как устранить эти причины.
12. Занимается оптимизацией действующего технологического процесса и внедрением новых процессов.

Тема 5 Производственный процесс

Аббревиатура структурных подразделений предприятия и описание их функций

ОГМ

Отдел главного механика. Занимается вопросами приобретения и доставки оборудования (на основании ТЗ, поступившего из ОГТ, форма 4,5; Перечней оборудования форма 2,3), совместно с цеховой службой обслуживания оборудования занимается размещением оборудования в цехе, подводом коммуникаций (на основании планировки размещения, подготовленной ОГТ и направленной в сопровождении служебной записки форма 8).

ОГЭ

Отдел главного энергетика. Занимается вопросами освещения помещений и рабочих мест, разрабатывает документацию на подвод электропитания к оборудованию (на основании планировки размещения оборудования, которую направляет ОГТ в сопровождении служебной записки форма 8) . Ведет авторский надзор за выполнением работ по энергообеспечению службами цехов.

ОМиА

Отдел механизации и автоматизации. Занимается вопросами разработки документации на средства механизации и автоматизации оборудования (**не занимается оснасткой**) на основании ТЗ, которые направляются ОГТ.

ОМТС

Отдел материально технического снабжения. Занимается приобретением и доставкой расходных материалов, инструмента (на основании перечней материалов форма 9,10 по заявкам ОГТ форма 11 для технологических процессов); средств оснащения служебных помещений и расходных материалов для бытовых нужд по заявкам от подразделений, цехов; приобретением и доставкой стройматериалов (по заявкам УКС). Если в ОГТ есть подразделение материалов (ТБ материалов), Перечни материалов разрабатывают в бюро ТПП, а заявки оформляют специалисты ТБ материалов. В игре обратите на это внимание.

УКС

Управление капитального строительства. Занимается установкой капитальных перегородок в производственных помещениях и другими не масштабными строительными работами (на основании планировок, которые направляет ОГТ в сопровождении служебной записки форма 8, собственными службами специалистов разрабаты-

вается документация, по которой выполняются работы собственными силами или подрядными организациями).

ОН

Отдел надежности. Занимается испытаниями по надежности, оценкой надежности, анализом и статистикой отказов продукции, выпускаемой предприятием.

ЦИЛ

Центральная измерительная лаборатория. Занимается различными видами измерений по заявкам отделов, цехов для оценки качества, анализа дефектов, дает рекомендации по использованию методов и средств контроля при разработке ТП. Играет роль арбитра в спорных вопросах.

ОТК

**Лаборатория
внешней
приемки**

Отдел технического контроля. Служба внешнего подчинения. Лаборатория внешней приемки занимается входным контролем комплектующих, материалов, пользуясь ТУ, сертификатами качества, ограничительными перечнями (конструкторский документ), технологическими инструкциями входного контроля (разрабатываются на основании ТУ, стандартов, ограничительных перечней). Может использовать свою базу контрольно-измерительной аппаратуры или проводит контроль на территории цехов (сложная дорогая аппаратура и т.п.). ОТК занимается надзором за соблюдением требованиями стандартов при разработке технической документации и производстве, участвует в анализе технологического брака.

ОТД

Отдел технической документации. Занимается приемкой технической документации от внешних поставщиков и рассылкой по соответствующим подразделениям. **Документацией, разрабатываемой на предприятии, не занимается.** В деловой игре нужно оформить служебную записку (форма 8) на получение документации, которую вы согласовали с разработчиком внедряемого изделия.

ОНТИ

Отдел научно-технической информации. Занимается вопросами изобретениями и патентованием, выставками, презентациями, научно-техническими конференциями и т.л.

ОК

Отдел комплектации. Занимается приобретением и поставкой комплектующих для технологических процессов (на основании перечней и заявок, которые представляются ОКБ) и запчастей для оборудования

ОС

Отдел сбыта. Занимается реализацией и отгрузкой собственной продукции, которая находится на складах.

ОКБ

Отдел конструкторских бюро. Занимается всеми вопросами, связанными с конструкцией изделия: разработкой конструкторской документации, ограничительных перечней, отработкой опытных образцов в цехах. Отвечает за приемку документации от разработчика. Участвует в изготовлении установочной партии, анализе технологического брака, если дефекты связаны с конструктивными особенностями.

Тема 6 Виды изделий

(Учебное пособие «Технологическая подготовка производства»)

Конструктивно – технологические особенности изготовления изделий электронной техники.

Особенность изделий ЭТ состоит в том, что базовые конструкции имеют несколько уровней модульности, предусматривающих объединение простых модулей в более сложные.

Согласно ГОСТ 2.101. – 88 «Единая система конструкторской документации. Виды изделий » устанавливаются следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты. Структура изделия по виду входящих в него составных частей показана на рис.1.1.

В зависимости от наличия или отсутствия составных частей изделия делятся на не специфицированные и специфицированные. *Не специфицированные* изделия (заготовки, полуфабрикаты, детали) не имеют составных частей, а *специфицированные* (сборочные единицы, комплекты, комплексы) изделия состоят из двух или более составных частей.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. С точки зрения квалиметрии в соответствии с ГОСТ 15895 – 77 *изделием* называется единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках или экземплярах.

В зависимости от назначения выделяют изделия основного производства и вспомогательного. К изделиям *основного* производства относятся изделия, предназначенные для поставки (реализации) другим предприятиям. К изделиям *вспомогательного* производства относятся изделия, предназначенные для собственных нужд предприятия.

Например, к изделиям основного производства относятся корпуса микросхем, которые поставляются на предприятия по производству интегральных микросхем; модули первого или второго уровня; полупроводниковые приборы, которые используются на предприятиях – потребителях в качестве комплектующих изделий. Изделиями вспомогательного производства являются специальный контрольно – измерительный инструмент (скобы, калибры); специальные электроды для шовной контактной роликовой и ультразвуковой сварки; различные приспособления для закрепления заготовок; тара межоперационная и др.

Деталью называется изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Например, деталями являются втулки, винты, гайки; подложки из поликора или ситалла для гибридно - пленочных интегральных схем; крышки корпусов для герметизации микросхем.

Деталями являются также изделия, подвергнутые защитным, технологическим или декоративным покрытиям.

Например, к деталям относятся крышки корпусов микросхем из коррозионно - нестойкого ковара с защитным никелевым покрытием.

В процессе формообразования получают не только готовые детали, но и полуфабрикаты и заготовки. Эти изделия также считаются деталями. *Полуфабрикатом* называется продукт производства, который требует последующей обработки или сборки. *Заготовкой* называется продукт производства, из которого изменением формы, состояния поверхности и физических свойств исходного материала изготавливают деталь. Заготовки получают предварительной обработкой исходных материалов методами литья, прессования, обработкой давлением, резанием и т.д.

Например, в качестве полуфабрикатов используют листы, ленты, полосы, из которых получают заготовки или готовые детали. Заготовками являются металлические прутки разного профиля для последующего получения втулок, шайб, прокладок и др.

Сборочной единицей называется изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии – изготовителе с использованием сборочных операций (свинчивания, клепки, пайки, сварки, развальцовки, склеивания, спекания и т.п.).

Комплектом называется два или более изделий, не соединенных на предприятии – изготовителе с использованием сборочных операций и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Как правило, детали и сборочные единицы, входящие в комплект, не совместимы с другими или частично совместимы с элементами других комплектов.

Например, комплектом является набор запасных частей прибора; комплект инструмента и принадлежностей для ремонта; комплект измерительной аппаратуры; комплект деталей корпусов микросхем.

Комплексом называется два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии – изготовителе с использованием сборочных операций, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое из этих специфицированных изделий, входящих в комплекс, служит для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса. В комплекс могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций. Комплексы могут состояться из изделий, изготовленных на разных предприятиях – поставщиках.

Например, вычислительный комплекс состоит из системного блока, монитора, средств ввода и вывода информации, которые, выполняя различные основные функции (ввода, обработки, передачи, хранения и вывода информации), обеспечивают взаимосвязанные эксплуатационные функции.

Согласно ГОСТ 20397 – 82 изделия агрегатных¹⁾ систем средств вычислительной техники на основе микросхем, которые используются для построения и эксплуатации вычислительных комплексов, производятся в виде субкомплексов, устройств, агрегатных модулей, блоков элементов и др.

Субкомплексом называется часть комплекса, выделенная функционально, территориально или конструктивно.

Устройством называется функционально законченное изделие, выполняющее определенную функцию получения, передачи, преобразования информации, не имеющих самостоятельного эксплуатационного назначения.

Агрегатный¹⁾ модуль предназначен для компоновки устройств, субкомплексов и комплексов. Он состоит из приборов, блоков и элементов, но представляет собой неделимое изделие для потребителя.

Блоком элементов называется первичная функциональная конструкторская единица, не имеющая самостоятельного эксплуатационного назначения и используемая для построения прибора.

¹⁾Агрегатный - [лат. присоединенный] – соединение нескольких разнотипных аппаратов и т.п. в одно целое для работы в комплексе

Тема 7 Качество изготовления деталей (припуски, допуски, качества)

Качество изделия - это соответствие его показателей качества требованиям технической документации.

Качество продукции – это ее соответствие требованиям потребителей (покупателей).

Качество изделий характеризуется **показателями качества**, которые могут выражаться **количественно** или **качественно**.

ПРИМЕРЫ

1. **Физические:** электрическое сопротивление; качество поверхности; емкость; проводимость; индуктивность.
2. **Химические:** растворимость; концентрация; скорость травления.
3. **Конструктивные:** надежность; геометрические размеры – габаритные, соединительные, установочные.
4. **Эргономические:** удобство.
5. **Эстетические:** цвет; лучше чем.

В процессе производства показатели качества отклоняются от тех, которые указаны в технической документации из-за производственных погрешностей.

Производственные погрешности бывают:

1. Постоянными (систематическими).
2. Закономерно изменяющимися.
3. Случайными.

1. Погрешности называются постоянными, если погрешности всех деталей, входящих в партию, **одинаковы**.

Такие погрешности получаются под действием постоянных факторов.

Например: неточность наладки оборудования.

2. Погрешности называются **закономерно изменяющимися**, если при переходе от одной детали к другой величина погрешности изменяется по одному и тому же закону.

Например: износ инструмента.

4. Погрешности называются **случайными**, если время появления и направление действия погрешности невозможно предугадать.

Например: уменьшение ширины пленочного проводника при резком изменении температуры травителя.

Погрешности приводят к отклонениям показателей качества от номинальных значений.

Отклонение, в пределах которого изделие считается годным, называются **допуском**.

Величина допуска определяет **точность** изделия.

Условия получения заданной точности.

Необходимое

$$\delta \geq \sum \Delta, \text{ где}$$

δ – допуск на размер (показатель качества);

$\sum \Delta$ - производственные погрешности, присущие данному ТП.

Достаточное

$$X_{\min} \leq X \leq X_{\max}, \text{ где}$$

$$X_{\max} - X_{\min} = \delta,$$

X - номинальное значение получаемого параметра;

X_{\max} – максимальное значение получаемого параметра;

X_{\min} - минимальное значение получаемого параметра.

Если величина погрешностей больше заданного конструктором **допуска**, то часть параметров выходит за поле допуска и деталь бракуется. Чтобы исключить это, необходимо изменить:

- точность технологического процесса;
- подобрать более точное оборудование;
- стабилизировать режимы;
- изменить метод обработки, монтажа и др.

Точность оценивается **квалитетами**.

Согласно единой системе допусков и посадок для линейных размеров вводится 20 квалитетов в порядке понижения:

01; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18.

Первые три 01; 0; 1 – предназначены для концевых мер длины (эталонов).

Со 2-го по 4-ый – предназначены для калибров и особо точных изделий.

С 5-го по 13-ый – предназначены для сопрягаемых размеров деталей.

С 14-го по 18-ый – предназначены для несопрягаемых размеров деталей.

Допуски обозначают IT с порядковым номером квалитета, **например IT14**.

Для физических параметров допуск может быть проставлен в процентах, например, электрическое сопротивление $R_{н\pm} 10\%$.

Методы получения заданной точности

1. Метод пробных проходов и промеров.
2. Метод автоматического получения параметров (размеров).

Метод пробных проходов и промеров используется в единичном и мелко-серийном производствах для универсального оборудования.

Для серийного и массового производства этот метод не рекомендуется применять.

Метод автоматического получения параметра основан на том, что оборудование предварительно настраивается на настроечный параметр, который получается в течение определенного времени (до настройки) автоматически с необходимым допуском.

Качество поверхности деталей

Качество поверхности деталей оценивается с геометрической и физической точек зрения.

С геометрической точки зрения. С геометрической точки зрения качество поверхности определяется отклонениями реальной поверхности от идеальной. Эти неровности подразделяют на три группы:

- макронеровности;
- волнистость;
- микронеровности (шероховатость).

Макронеровности – единичные, неповторяющиеся отклонения поверхности (конусность, не параллельность, овальность и др.).

Волнистость – периодически повторяющиеся выступы и впадины на поверхности заготовки или детали.

Микронеровности – выступы и впадины на небольших участках поверхности.

Основными технологическими факторами, влияющими на шероховатость обрабатываемой поверхности, являются геометрия и состояние режущей кромки инструмента, режимы резания, свойства обрабатываемого материала, вид смазывающе - охлаждающей жидкости и др.

По микронеровностям определяют качество поверхности заготовки (детали). Согласно ГОСТ 2789-73 качество поверхности оценивается 14-ю классами шероховатостей (1-й класс – наиболее грубый).

С физической точки зрения качество определяется отклонением свойств верхних слоев материала от свойств материала сердцевины.

В разрезе реальной заготовки выделяют следующие слои:

- рельефный слой, определяет геометрические отклонения от идеального поверхностного слоя;
- трещиноватый слой, нарушенная целостность поверхности;
- пластически деформированный слой;
- напряженный, упругодеформированный слой.

H – высота дефектного слоя, величина которого определяется способом обработки. Чем грубее обработка, тем больше дефектный слой.

Показатели качества сборочных единиц. Ограничительные перечни

Для получения достоверной информации о качестве сборочных единиц составляют Ограничительные перечни.

К показателям качества, которые обязательно подлежат контролю, относятся:

- габаритные линейные разметы;
- присоединительные линейные размеры;
- установочные линейные размеры.

Остальные показатели качества заносят в Ограничительный перечень в зависимости от технологии изготовления изделия.

Контроль качества изделий. Под *контролем качества* понимают процесс определения соответствия изделий (на всех стадиях изготовления) требованиям технической документации (операционным картам, контрольным картам, описанию и образцам внешнего вида). Контроль качества осуществляется путем сравнения показателя качества, указанного в технической документации, с измеренным показателем качества.

Производственный (технологический) контроль качества осуществляется на стадии производства и охватывает все вспомогательные, подготовительные и основные технологические операции, что не позволяет попадание дефектных материалов и изделий на последующие этапы изготовления и ремонта. В результате технологического контроля устанавливается связь между состоянием контролируемого объекта и заданными требованиями (нормами) на его показатели качества.

В зависимости от стадии технологического процесса производственный контроль подразделяют на

- входной;
- операционный;
- приемочный.

Эксплуатационный контроль проводится на стадии эксплуатации изделия (когда изделие используют).

Входной контроль качества изделий. Одним из элементов обеспечения качества изделий на стадии производства является входной контроль качества продукции поставщика (материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, сборочных единиц), поступивших к потребителю или заказчику. Такие изделия часто называют покупными и используют для производства, ремонта или эксплуатации собственной продукции. Входной контроль качества проводится для проверки соответствия поступившей на предприятие продукции требованиям технической документации (техническим условиям, чертежам на изделие, сертификатам качества).

Для оценки качества изделий на входном контроле применяют сплошной контроль, выборочный контроль и отбор.

Сплошной контроль качества изделий, в процессе которого контролю подвергается каждая единица продукции, применяют в условиях высоких требований к уровню качества изделий. Этот контроль обычно используют на стадии запуска изделий в производство, когда еще нет достаточных статистических данных о стабильности качества поставляемой продукции, или при изменении в технологии изготовления продукции на предприятии – поставщике.

Выборочный контроль изделий проводится по выборке изделий.

Выборочный контроль применяют при большой трудоемкости контроля; при контроле, связанном с разрушением изделий, или при контроле операций, выполняемых на автоматизированных комплексах.

Выборкой называется часть изделий, отобранных из общей их совокупности для получения информации обо всем количестве изделий, называемом *общей* или *генеральной совокупностью*. Если выборка достаточно хорошо представляет соответствующие характеристики генеральной совокупности, то такую выборку называют *репрезентативной* или *представительной*, т.е. обладающей статистическими свойствами, характерными для всей рассматриваемой совокупности.

Результаты оценки показателей качества изделий в выборке являются основанием для принятия решения использовать поступившие изделия в производстве или вернуть на предприятие – поставщик, оформив рекламацию.

Входной контроль качества покупных изделий проводится подразделениями (лабораторией) внешней приемки, которые находятся в составе Отдела технического контроля предприятия. Покупные изделия поступают в лабораторию внешней приемки и после входного контроля передаются в производство (участок, цех). Если поставляемая продукция не соответствует требованиям технической документации на входном контроле, то она рекламируется в соответствии с установленным порядком и в производство не поступает.

Отбор предполагает выбор из поступившей партии пригодных только для данного производства изделий (с более жесткими допусками на контролируемые показатели качества). Отбор используется только в случаях изготовления изделий стратегического назначения для ответственных изделий по согласованию с предприятием – изготовителем. При этом оставшиеся изделия возвращаются на предприятие – изготовитель без рекламаций или отправляются предприятиям, которые являются потребителями этой продукции. Расходы, связанные с пересылкой оставшихся после отбора изделий, распределяются между договаривающимися сторонами по взаимному согласию.

Входной контроль качества проводится в соответствии с требованиями технических условий, конструкторской документации или сертификатов качества.

Контролю могут подвергаться все показатели качества изделия, указанные в технических условиях, конструкторской документации, сертификатах качества за исключением тех, которые даны для справок. Все геометрические размеры деталей с покрытиями контролируются с учетом толщины покрытия. Предельные значения толщины покрытия (минимальное и максимальное) определяются согласно требованиям стандартов и технологической документации для конкретного покрытия.

Оценка качества изделий может осуществляться по результатам качественного или количественного контроля.

Качественную оценку показателей качества, если они характеризуют внешний вид изделия, проводят сравнением контролируемого изделия с образцами внешнего вида

Образец внешнего вида представляет собой изделие (на разных стадиях изготовления), содержащее предельно допустимые дефекты, при наличии которых изделие считается годным. При этом на одном образце может находиться несколько дефектов. Образцы внешнего вида оформляются в соответствии с описанием образцов внешнего вида, которое содержится в технических условиях на изделие, в двух экземплярах: один для предприятия – потребителя, другой – для предприятия – изготовителя. Образцы помещаются в прозрачную прочную упаковку (как правило, из оргстекла) так, чтобы дефекты были доступны для осмотра, шнуруются и пломбируются в соответствии с требованиями стандарта. На шнурке закрепляется этикетка, на которой перечисляются виды дефектов, их описание в соответствии с описанием образцов внешнего вида и указываются согласующие подписи специалистов подразделений, отвечающих за качество продукции.

Операционный контроль качества. Операционный контроль используют для проверки деталей и сборочных единиц в процессе изготовления или ремонта, а также количественных и качественных характеристик технологических процессов. Операционный контроль позволяет определять степень стабильности технологического процесса и создавать научно обоснованную спецификацию изделий.

В процессе производства проводится контроль качества изделий (заготовок, деталей, сборочных единиц); наладки и работы оборудования (оснастки); технологического процесса и соблюдения технологической дисциплины.

К о н т р о л ь к а ч е с т в а и з д е л и й (заготовок, деталей, сборочных единиц) – это одна или несколько контрольных операций, направленных на выявление дефектных изделий и полуфабрикатов в процессе производства. Контроль изделий может быть сплошным или выборочным. Контроль качества изделий в процессе или после выполнения операции осуществляется исполнителями (операторами) и контролерами отдела технического контроля. На некоторых операциях контроль качества могут проводить представители заказчика.

В соответствии с требованиями операционной карты оператор проводит контроль и разбраковку изделий после выполнения операции, и результаты контроля заносит в сопроводительный лист. Бракованные изделия сдаются в *изолятор брака*, а годные изделия согласно сопроводительному листу передаются на следующую технологическую операцию или контролеру отдела технического контроля.

В тех случаях, когда для контроля качества изделий используется дорогостоящее, сложное в обслуживании, высокопроизводительное оборудование, которое не целесообразно приобретать для ограниченных нужд службы технического контроля, контроль качества изделий проводится оператором в присутствии контролера отдела технического контроля и представителя заказчика. Оператор проводит контроль ка-

чества изделий совместно с контролером отдела технического контроля и представителем заказчика и в том случае, когда при повторном контроле качества велика вероятность получения недостоверной информации или когда для обеспечения достоверности контроля повторный контроль нужно проводить после дополнительной обработки изделий.

К о н т р о л ь н а л а д к и и р а б о т ы о б о р у д о в а н и я (оснастки) может быть непрерывным и периодическим.

Непрерывный контроль работы оборудования осуществляется, как правило, автоматическими или полуавтоматическими методами. Он используется при нестабильности технологического процесса и необходимости обеспечения постоянства режимов оборудования.

Пример

Периодический контроль применяют для проверки работы оборудования при установившемся и стабильном технологическом процессе.

Пример

Наладка оборудования осуществляется цеховой службой обслуживания оборудования (цеховыми наладчиками) в соответствии с паспортом на оборудование, инструкцией по наладке оборудования и требованиям технологического процесса. Результаты наладки и контроля работы оборудования заносятся в рабочий журнал на каждую установку.

К о н т р о л ь т е х н о л о г и ч е с к о г о п р о ц е с с а. Контроль технологического процесса изготовления изделий относится к сфере деятельности технолога и является, как правило, статистическим (выборочным). Обработка статистических данных осуществляется методами математической статистики. Основная цель этого контроля состоит в своевременном определении и снижении систематических ошибок технологического процесса.

К о н т р о л ь т е х н о л о г и ч е с к о й д и с ц и п л и н ы. Отраслевая система контроля технологической дисциплины нацелена на предупреждение возможных нарушений технологических процессов, исключение технологического брака, повышение качества выпускаемой продукции, предотвращение преждевременного выхода из строя оборудования, технологической оснастки, инструмента.

Контроль технологической дисциплины может быть повседневным, периодическим, летучим, ведомственным, инспекционным, специальным, представителем заказчика.

Повседневный контроль соблюдения технологической дисциплины проводится контролером отдела технического контроля, мастером участка и технологом цеха в процессе изготовления изделия.

Периодический контроль проводится цеховой (заводской) комиссией в определенные графиком сроки в соответствии со специальными требованиями предприятия.

При проведении *летучего контроля* из потока изделий изымается случайная выборка изделий. Эффективность летучего контроля обуславливается его внезапностью, правила которой определяются специальными требованиями предприятия. Летучий контроль осуществляется непосредственно на рабочем месте изготовления, ремонта или хранения изделий комиссией в составе технолога отдела главного технолога, технолога цеха и контролера отдела технического контроля. По результатам контроля составляется акт контроля.

Специальный контроль проводит специально назначенная комиссия при выявлении значительного брака или получения рекламаций от потребителя.

Нарушения технологической дисциплины должны устраняться в короткие сроки. Для этого создается система контроля качества продукции и анализа отказавших или некачественных (бракованных) изделий. Главная задача анализа брака – установление и устранение причин брака. Брак, возникший в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта, выполнявшегося на предприятии – изготовителе, называется *производственным*. После разбраковки годные изделия передаются на следующую технологическую операцию, а бракованные – в изолятор брака. Изолятор брака находится, как правило, на территории цеха или участка, на котором производится продукция, но является структурным подразделением отдела технического контроля.

Бракованная продукция подлежит анализу, в процессе которого проводится диагностика отказов (определяются виды дефектов), определяются исправимые и неисправимые дефекты, устанавливаются причины отказов и оформляется протокол результатов анализа. В соответствии с этим протоколом разрабатывается план мероприятий по устранению причин возникновения брака, а также по совершенствованию технологического процесса, внедрению новых материалов, процессов, оборудования, приспособлений, инструмента, оптимизации режимов, совершенствованию организации труда.

Для анализа брака назначается комиссия в составе технолога отдела главного технолога, технолога цехового технологического бюро и инженера отдела технического контроля.

Периодичность проведения анализа бракованной продукции определяется в специальных требованиях предприятия и зависит от стабильности технологического процесса.

Выходной (приемочный или приемосдаточный) контроль качества изделий. По окончании всех технологических операций производится выходной контроль качества, который включает контроль функционирования изделий в соответствии с требованиями технической документации (такой вид контроля называется *функциональным*) и контроль внешнего вида в соответствии с описанием или образцами внешнего вида.

Тема 8 Технологические методы обеспечения качества изготовления деталей

(Учебное пособие «Технологическая подготовка производства»)

Основными параметрами качества деталей являются технологичность, точность изготовления и качество поверхности.

Технологичность деталей. Требования к конструкции конкретной детали, к ее размерам, механическим, электротехническим и другим свойствам обусловлены ее назначением и особенностями эксплуатации. Эти требования, в том числе марка исходных материалов, фиксируются на рабочем чертеже детали и являются исходными данными для деятельности технологических служб и производственных подразделений предприятия, на котором изготавливают деталь.

Для производства детали всегда можно предложить несколько методов обработки (или переработки) исходных материалов, которые технически в равной степени могут обеспечить заданные свойства. Каждый из методов накладывает определенные требования к форме элементов детали, их предельным размерам и имеет ограничения на достижимую точность полученных размеров и формируемых в процессе изготовления свойств. Равноценные методы обработки конструкционных материалов в отношении точности и достижения других заданных свойств, как правило бывают неравноценными по затратам времени, средств и энергии на их реализацию. Кроме того, в зависимости от объема выпуска (количества деталей, изготавливаемых в заданный интервал времени) неравноценность методов проявляется неоднозначно. Технологические требования к детали для этих методов различны.

Технология представляет собой совокупность знаний о способах и средствах проведения производственных процессов, а также сами процессы, при которых происходит качественное изменение исходного материала или заготовки. Взаимосвязь конструкции деталей и технологии их изготовления, прежде всего, осуществляется через выбор материалов, методов обработки и учет объема выпуска и условий производства. Эта связь иллюстрируется схемой (рис.1.12) принятия конструкторских и технологических решений при конструировании деталей.

Связь между конструкцией деталей, требованиями к их свойствам и технологией изготовления характеризуется рядом показателей технологичности.

В зависимости от типа производства одна и та же деталь может иметь различную технологичность. Деталь, технологичная в условиях мелкосерийного производства, может быть нетехнологичной при массовом производстве, и наоборот.

Оптимальность затрат при изготовлении детали следует из того, что, кроме технологичности отдельно взятых деталей, есть технологичность изделия в целом. Не

всегда конструкторские мероприятия, направленные на повышение технологичности отдельно взятой детали, ведут к повышению технологичности изделия в целом.

Технологичность конструкции детали определяется небольшой трудоемкостью и материалоемкостью и высоким коэффициентом использования материала. Технологичная деталь должна быть наименее трудоемкой и металлоемкой в изготовлении.

Технологичность конструкции детали оценивается качественно и количественно. Качественная оценка технологичности выполняется сопоставлением элементов конструкции деталей с рекомендациями по конструированию технологичных деталей применительно к конкретному методу обработки. Эти рекомендации определяют технологичность обобщенно на основании опыта изготовления деталей в производстве.

Согласно ЕСТПП в зависимости от области проявления технологичность деталей может быть производственной и эксплуатационная.

Производственная технологичность проявляется в сокращении затрат и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, а также на изготовление детали. Для обеспечения производственной технологичности деталей используются следующие средства:

- снижение массы деталей;
- стандартизация, унификация и группирование деталей и их элементов по конструктивным признакам;
- ограничение номенклатуры деталей за счет повышения применяемости, заимствования из других изделий и повторяемости в пределах одного вида изделия;
- ограничение номенклатуры применяемых материалов;
- применение для изготовления деталей унифицированных технологических процессов и средств технологического оснащения.

Эксплуатационная технологичность обеспечивает снижение трудоемкости и стоимости эксплуатации и ремонта изделий электронной техники.

Снижение массы детали, а вместе с ней и массы заготовки – одно из основных направлений в повышении технологичности конструкций деталей. При выборе материала детали исходят из требований конструктивных (материал должен удовлетворять техническим условиям, условиям эксплуатации) и технологических (должен легко обрабатываться давлением, резанием, иметь хорошие литейные и другие технологические свойства) требований. Материалы, отвечающие этим требованиям, считают технологичными.

Например, при выборе марок материалов для сварных конструкций необходимо учитывать соотношение в металле легирующих примесей и углерода. Увеличение содержания углерода ухудшает свариваемость заготовок и увеличивает брак.

Выбор и назначение материала – сложная и ответственная задача, которую проводят на разных стадиях, начиная с разработки технического проекта.

Для литейных металлических сплавов исходным материалом являются чушки, слитки, из которых изготавливаются отливки различными способами (литье в «землю», оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением).

Для группы деформируемых сплавов исходной заготовкой являются листы, полосы, ленты, прутки различного профиля, из которых изготавливают детали с использованием операций холодной штамповки, гибки, вырубки, пробивки, вытяжки.

Для группы порошковых материалов исходными являются порошки, гранулы различной формы и размеров, заготовки и детали из которых получают методами порошковой металлургии (прессование с последующим спеканием, горячим прессованием, совмещенное прессование и спекание).

В качестве исходного материала для получения заготовок и деталей из пластмасс являются пресс - порошки, гранулы, листы, прутки, ленты, которые перерабатывают литьем под давлением, прямым и литьевым прессованием, штамповкой из листового материала, холодным прессованием с последующим спеканием.

При обеспечении соответствия требований, предъявляемых различными технологическими процессами к конструкции, можно руководствоваться следующими соображениями.

Детали для *токарной обработки*¹⁾ по возможности должны иметь:

- минимальное количество отверстий с различными диаметрами и поверхностей, не имеющих форму тел вращения;
- симметричные допуски, особенно на линейные размеры;
- различную длину сверления и нарезания для внутренней резьбы (длина сверления должна быть больше длины нарезания на три – пять шагов резьбы);
- конус от сверла в глухих отверстиях;
- фаски на резьбовых поверхностях для лучшего свинчивания сопрягаемых деталей;
- сквозные отверстия (при наличии соосных отверстий) с двух сторон детали.

¹⁾Токарная обработка относится к обработке резанием, которая заключается в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки. Образованием поверхностей сопровождается деформированием и разрушением поверхностных слоев материала.

При проектировании *штампованных деталей*²⁾ обычно решается задача обеспечения наилучших эксплуатационных качеств проектируемого изделия и создание такой конструкции, которая допускала бы наиболее рациональные способы изготовления. Конструкция изделия создается при совместной работе конструктора и технолога и предусматривает наиболее благоприятную форму изделия для упрощения процесса штамповки; правильный выбор металла по толщине и физико – механическим свойствам; рациональный способ простановки размеров на чертеже изделия, что способствует целесообразному выбору технологических баз обработки; обеспечение соответствия установленных допусков на размеры изделия технологически и экономи-

чески достижимой точности штамповки. При проектировании штампованных деталей необходимо стремиться к тому, чтобы деталь можно было получать методом безотходной штамповки или с минимальными отходами. Стороны вырубаемого контура заготовки должны сопрягаться по кривой возможно большего радиуса. Это удешевляет стоимость штампа и увеличивает срок его службы. Минимальный радиус сопряжения должен быть равен $0,25 \dots 0,5$ толщины материала заготовки.

Окна для облегчения веса детали или смотровые окна деталей обычно проектируются произвольной формы. Для повышения коэффициента использования материала целесообразно конфигурацию смотровых окон или окон для облегчения веса делать по форме какой – либо детали, входящей в изделие и близкой по размерам величине окна. Отверстия штампуемых деталей по возможности должны иметь размеры, близкие к толщине материала с тем, чтобы их можно было получать пробивкой в обычных штампах.

Элементы конструкции штампа для *вырубки*³⁾ деталей должны выбираться так, чтобы не увеличивать трудоемкость изготовления штампа. Излишне высокая точность изготовления элементов конструкций удорожает стоимость штампа и снижает срок его службы из – за уменьшения допусков на износ. Для большинства деталей численное значение допуска δ может быть определено по формуле $\delta = 0,2s + 0,3z$, где s – толщина штампуемого материала; z – минимальное значение зазора между пуансоном и матрицей.

При *гибке*⁴⁾ деталей на штампах оптимальным углом гибки является угол 60° . Углы гибки 90° получать труднее и за одну операцию не всегда удается. Во избежание искажения размеров и формы готовых изделий, вызванных упругим последствием в деталях, целесообразно предусмотреть в их конструкции ребра жесткости, отбортовку, что повышает жесткость. Для снижения напряжений в местах гибки необходимо при конструировании деталей выбирать радиусы гибки r_{\min} не менее допустимых значений, величина которых может быть подсчитана по формуле:

$$r_{\min} = [(1 + 2\psi_{\max}) / 2\psi_{\max}] s,$$

где ψ_{\max} – относительное максимальное сужение материала листа; s – толщина листа.

При конструировании деталей, получаемых методом *вытяжки*²⁾, следует учитывать, что в течение этой операции металл находится в сложном объемно – напряженном состоянии. Поэтому желательно, чтобы детали были возможно более простой формы и имели наименьшее количество криволинейных участков. Применение многократных вытяжек усложняет процесс получения деталей вследствие необходимости ведения дополнительных операций (промежуточного отжига для восстановления пластичности металла и травления для очистки поверхности).

2), 3), 4) Данные виды обработки относятся к обработке давлением, которая заключается в пластическом деформировании или разделении материала.

В производстве приборов, изделий электронной и вычислительной техники низкую трудоемкость и себестоимость имеют детали, полученные методами холодной штамповки (корпуса), пластических деформаций (прокатка, холодная и горячая штамповка), литьем (пластмассовые изделия, кнопки, элементы мышки, клавиатуры, корпусов системных блоков).

С технологической точки зрения в зависимости от объема производства, конструкции деталей и применяемого материала иногда целесообразно сложную деталь расчленять на несколько простых с последующей сваркой⁵⁾, пайкой⁶⁾, склеиванием⁷⁾ или механическим соединением отдельных элементов.

⁵⁾Сварка осуществляется в соответствии с ГОСТ 2601-84. ⁶⁾Пайка осуществляется в соответствии с ГОСТ 17325-79. ⁷⁾Склеивание – образование неразъемных соединений при помощи клея.

Сварные швы следует располагать по прямым, окружностям и другим правильным геометрическим линиям, размещая их симметрично на конструкции, что дает возможность автоматизировать процесс сварки. Необходимо избегать пересечения сварных швов и близкого расположения их друг к другу, сварки заготовок разной толщины. При сварке тонких листов следует применять точечную или роликовую сварку; при необходимости обеспечения герметичности – шовную контактную роликовую сварку; при соединении встык – контактную стыковую сварку.

Для получения качественных паяных соединений деталей и сборочных единиц необходимо уделять большое внимание выбору соответствующего припоя и флюса в зависимости от марки материала детали и рекомендаций, приводимых в справочниках. Если пайкой соединяется последовательно несколько заготовок или деталей, близко расположенных друг к другу, следует выбирать припой с разными температурами плавления, производя пайку последовательно, начиная с наиболее тугоплавкого припоя. Зазор под пайку между соединяемыми деталями должен находиться в пределах 0,05...0,15 мм.

Стенки пластмассовых деталей выполняются по возможности одинаковой толщины в пределах 0,5...6,0 мм (в зависимости от материала). Для облегчения удаления детали из пресс - формы стенки детали должны иметь уклон в направлении разъема пресс – формы в пределах от 1: 10 до 1: 50 (от 1 до 60 мм) в зависимости от высоты детали. Наружные и внутренние стороны стенок деталей должны сопрягаться по радиусу возможно большего размера, но не менее толщины стенки. Для повышения прочности и жесткости детали целесообразно не увеличивать толщину стенок, а делать ребра жесткости.

Неподвижные соединения деталей из пластмасс и металла можно получать установкой арматуры в процессе прессования или литья под давлением; путем механической запрессовки с натягом в пластмассовую деталь металлической детали со шли-

цевой накаткой. При соединении деталей клеем следует предусмотреть зазор в пределах 0,05...0,10 мм.

Перечисленные виды заготовок и их способы изготовления обеспечивают в той или иной степени технологические, точностные и другие параметры детали.

Точность изготовления деталей. Под точностью изготовления деталей понимается степень приближения размеров, формы, взаимного расположения, качества обработанных поверхностей к значениям, заданным по чертежу. Это соответствие можно рассматривать в отношении размеров и формы отдельных деталей, упругих, электрических, магнитных и других свойств, а также качества поверхности и состояния поверхностного слоя. Точность изготовления обеспечивается выбором методов обработки, оборудования, оснастки (инструмента и приспособлений) и построением технологического процесса. При этом из нескольких вариантов, равноценных по достижению точности технологических процессов, выбирается процесс, требующих минимальных затрат.

Требования к точности линейных размеров деталей содержатся в стандартах единой системы допусков и посадок (ЕСДП), разработанных в соответствии с международной системой стандартов серии ИСО. Вместо применявшихся ранее классов точности в ЕСДП приняты 19 *квалитетов точности*, которые записываются в порядке понижения: 01, 0, 1, 2, ..., 17, табл. 1.4.

Т а б л и ц а 1.4. **Применение квалитетов точности**

Квалитеты точности	Изделия, которые изготавливаются по данным квалитетам
01, 0, 1	Концевые меры длины
2, 3, 4	Калибры, особо точные изделия
5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	Детали с сопрягаемыми размерами
14, 15, 16, 17	Детали с несопрягаемыми размерами

Допуски на линейные размеры обозначаются двумя буквами латинского алфавита с указанием порядкового номера квалитета.

Например, габаритные размеры крышка корпуса 421.48 - 3 (35,8_{-0,17} и 23,8_{-0,14}) соответствуют 8 квалитету точности, что обозначается *IT8*.

Для физических величин допуск на показатель качества может проставляться в процентах.

Например, электрическое сопротивление резисторов указывается в виде $R_n \pm 10\%$; $R_n \pm 15\%$, где R_n – номинальное значение сопротивления.

Точность показателей качества деталей обеспечивается точностью выбранной технологической операции. Различают экономическую и достижимую точность опе-

рации. Под *экономической точностью* операции понимают такую точность, которая может быть получена при работе на оптимальных режимах обработки и использовании рабочего с квалификацией, соответствующей тарифно – квалификационному справочнику. Под *достижимой точностью* операции понимают такую точность, которую можно получить, работая на заниженных режимах обработки и используя рабочего более высокой квалификации. В справочниках по режимам обработки приводятся режимы экономической точности.

Работать на режимах достижимой точности приходится иногда в единичном (опытном) производстве или в инструментальных и ремонтных цехах предприятия, где имеются рабочие высокой квалификации, а специальное оборудование и специальная оснастка не применяются.

В процессе изготовления показатели качества изделий имеют отклонения из-за производственных погрешностей. Общая погрешность изготовления изделия представляет комбинацию различных видов погрешностей. Колебания показателей качества деталей ограничивают допуски. *Допуском* называется отклонение показателя качества изделия от номинального значения, в пределах которого изделие считается годным. Для обеспечения заданной точности необходимо выполнение следующих условий.

1. Необходимое условие обеспечения заданной точности:

$$\delta \geq \sum \Delta,$$

где δ – допуск на размер; $\sum \Delta$ - производственные погрешности, присущие данному технологическому процессу.

2. Достаточное условие обеспечения заданной точности:

$$X_{\min} \leq X \leq X_{\max},$$

где $X_{\max} - X_{\min} = \delta$, X – номинальное значение получаемого параметра; X_{\max} – максимальное значение получаемого параметра; X_{\min} – минимальное значение получаемого параметра.

Изделия, погрешность изготовления которых больше заданного допуска, являются браком. Заданная точность изделия обеспечивается соответствующим выбором оборудования, методами обработки, оптимизацией и стабилизацией режимов, точностью технологического процесса.

Деталь следует обрабатывать так, чтобы ее размеры, форма, качество поверхности и другие заданные чертежом условия были выдержаны. Однако в процессе изготовления положение заготовки изменяется по отношению к инструменту, и возникает отклонение действительных размеров или положений поверхности по отношению к заданным по чертежу (нагревается инструмент и заготовка; под действием сил резания деформируется заготовка, приспособление, инструмент; происходит износ инструмента в процессе обработки и т.п.). Причиной несоответствия показателей качества детали требованиям чертежа являются неизбежные отклонения реального технологи-

ческого процесса от расчетного (идеального). Такие отклонения называются *первичными погрешностями*.

Например, в производстве полупроводниковых приборов используют кремниевые или германиевые пластины. В результате резки полупроводниковых слитков получают заготовки, которые подвергаются последующей обработке (шлифовке, полированию). Вследствие возникающих погрешностей действительные размеры полупроводниковых пластин (толщина), положение поверхностей и другие параметры обрабатываемых заготовок отличаются друг от друга. Если разброс параметров готовых изделий находится в пределах допусков по чертежу, то обрабатываемые детали считаются годными.

Основные причины погрешностей изготовления деталей. Основными причинами погрешностей изготовления деталей являются:

- неточность оборудования в ненагруженном состоянии и под нагрузкой;
- неточность изготовления режущего инструмента и его износ;
- погрешность установки заготовки;
- погрешность установки инструмента;
- погрешность измерения.

Неточность оборудования в ненагруженном состоянии и под нагрузкой. В соответствии с ГОСТом «Нормы точности станков» допускаются отклонения в размерах деталей и узлов станка из-за неточности их изготовления (например, прямолинейность, плоскостность и параллельность направляющих станины должны быть в пределах 0,02 мм на длине 1000мм). Если точность станка не обеспечивает требуемой точности обработки детали, то нужно производить обработку на станке повышенной точности или применять «плавающие» инструменты (например, развертки, метчики и др.). Такие инструменты связаны со станком не жестко и располагаются относительно детали так, чтобы стружка снималась равномерно со всех сторон.

При выполнении технологических операций, связанных, например, с шовной контактной роликовой сваркой, используются сварочные ролики, которые в результате проходящего по ним электрического тока нагреваются, что приводит к их объемному и линейному расширению. При этом изменяется первоначальное положение инструмента.

Неточность изготовления режущего инструмента и его износ. Инструменты изготавливаются с определенными отклонениями размеров. Поэтому, заменяя один инструмент на другой с другим допуском, работа выполняется с другой точностью. Чтобы не происходило изменения размеров желательно обработку вести одним и тем же инструментом, т.е. стойкость инструмента должна быть большой.

При износе инструмента изменяется размер обрабатываемых поверхностей. Чтобы износ инструмента был меньшим, нужно увеличить их стойкость. Увеличение стойкости достигается применением новых марок быстрорежущих сталей и заменой

последних твердыми сплавами; работой на расчетных режимах резания; различными методами упрочнения.

Погрешность установки заготовки. При установке заготовок в приспособление на установке положение их должно быть одинаковым относительно ранее установленного инструмента. Из-за погрешности установки положение заготовки изменяется и обрабатываемые поверхности получаются неодинаковыми. Для уменьшения этой погрешности технолог должен применять все меры (проектирование оснастки, отрабатывать приемы, обучать операторов и рабочих).

Погрешность установки инструмента. При износе инструмента приходится перемещать его по отношению к обрабатываемым поверхностям или заменять другим. Вновь устанавливаемый инструмент, аналогичный заменяемому, не может абсолютно точно занять положение предыдущего, поэтому его необходимо устанавливать по шаблонам или упорам (приспособлениям), однако иногда это происходит в неудобном положении и поэтому возникают неточности установки.

Погрешности измерения. Измерительные инструменты и устройства изготавливают с определенной точностью, но инструменты изнашиваются и деформируются от воздействия внешней среды (температуры, влажности и др.); имеются также и субъективные погрешности в оценке показаний приборов. Поэтому размеры детали, измеренные в одном и том же сечении несколько раз, получаются разными.

Применение статистических методов для анализа точности изготовления деталей. Для разбраковки изделий на годные и бракованные используются пассивные методы контроля. С целью анализа точности изготовления деталей партиями, предупреждения появления брака и управления технологическими процессами используют статистические методы анализа и текущего активного контроля.

Различают точность отдельно взятой детали и точность изготовленной партии деталей. *Точность отдельной детали* оценивается отклонениями показателей качества непосредственно по результатам измерений. При измерении показателей качества партии деталей одни и те же показатели разных деталей отличаются своими значениями. Такое наблюдаемое различие формируемых показателей качества называется *рассеянием* или *разбросом*. Точность изготовления при наличии рассеяния контролируемых показателей качества можно оценить с помощью вероятностных статистических характеристик, основными из которых являются среднее арифметическое значение параметра; диапазон рассеяния; характеристики рассеяния значений параметров внутри диапазона и др.

Среднее арифметическое дискретное значение параметра:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_N) / N,$$

где x_1, x_2, \dots, x_N – действительные числовые значения параметра; N – число измерений,

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k x_i n_{xi} / N,$$

где k – число групп совпадающих значений параметра; n_{xi} – частота появления значения x_i . Для непрерывно меняющейся величины вместо среднего арифметического значения используют математическое ожидание:

$$M_x = \int_{x_1}^{x_2} xy \, dx.$$

Практический диапазон рассеяния Δ_p параметров определяется как разность между наибольшим x_{\max} и наименьшим x_{\min} значениями параметров партии деталей:

$$\Delta_p = x_{\max} - x_{\min}.$$

Середина поля рассеяния m_x параметра относительно заданного чертежом номинального значения $x_{\text{НОМ}}$ равна:

$$m_x = \bar{x} - x_{\text{НОМ}}.$$

Характер рассеяния значений параметров внутри диапазона наглядно представляют кривые распределения (рис.1.13), из которых 1- гистограмма; 2 - теоретическая кривая вероятности; 3 – полигон распределения или практическая кривая распределения. Для аппроксимации реальных кривых распределения используют законы, имеющие различные описания, например, закон Киши описывается уравнением $y = A(1 + x^2)$; биквадратный закон - $y = A \exp(-x^4)$; формула Симпсона - $y = A(1 + |x|)$ при $A \leq 1$ и др.

Для большинства технологических процессов при отсутствии влияния доминирующих факторов, нарушающих правильное их течение, распределение погрешностей подчиняется закону Гаусса:

$$y = A e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

где y - плотность вероятности; x – случайная величина (значение параметра качества детали); σ – среднее квадратическое отклонение, определяемое для дискретных значений по формуле; A – некоторый параметр. Для закона Гаусса $A = 1 / \sigma \sqrt{2\pi}$,

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 n_{xi} / N},$$

для непрерывных значений:

$$\sigma = \sqrt{\int_{x_1}^{x_2} x^2 y \, dx}.$$

Существенных отступлений от этого закона можно ожидать тогда, когда среди действующих факторов имеется один или несколько доминирующих во времени по определенным законам.

Приведенные характеристики оценивают общую суммарную погрешность изготовления, которую можно представить как погрешность, вызванную несколькими одновременно действующими факторами. Каждый фактор вызывает первичную погрешность, отличную от суммарной погрешности.

Методы обеспечения заданной точности изделий. В единичном производстве точность изделий обеспечивается высокой квалификацией рабочего. В серийном и массовом производствах точность изготовления деталей во многом определяется квалификацией технолога, который должен выбирать рациональный технологический маршрут, оборудование, оснастку, соответствующие вспомогательные материалы, режимы обработки, методы контроля и др. Для обеспечения точности при выполнении операций технолог обязан знать причины, вызывающие погрешности обработки, и способы их устранения.

При изготовлении деталей для обеспечения точности используют метод пробных проходов и промеров и метод автоматического получения параметров.

Метод пробных проходов и промеров состоит в том, что операция выполняется в несколько приемов (переходов). После выполнения каждого перехода производится промежуточный контроль параметра. Так продолжается до тех пор, пока не получат необходимое значение параметра.

Например, для получения отверстия овальной формы в деталях, толщиной более 3мм, применяют методы расточки, последовательно приближаясь к значению параметра, указанного в чертеже. После каждого прохода инструмента полученный размер контролируют.

Метод довольно точный, но малопроизводительный, используется в единичном и мелкосерийном производстве для универсального оборудования и в массовом производстве, как правило, не применяется.

Метод автоматического получения параметра основан **на том, что оборудование** предварительно настраивается на требуемый параметр.

Например, настройка оборудования для герметизации корпусов микросхем шовной контактной роликовой сваркой (рис.1.14) осуществляется путем подбора режимов на образцах. Одним из показателей качества герметизации является ширина сварного шва (зависит от типа корпуса). Если принять за настроечный размер $a'_{н}$ (рис.1.15), то при герметизации партии корпусов часть изделий, равная по количеству 3σ , уйдет в брак (заштрихованная часть) (рис.1.16). Следовательно, минимальный настроечный размер $a'_{н\min}$ необходимо увеличить на 3σ :

$$a'_{н\min} = a_{\min} + 3\sigma,$$

где a_{\min} – минимальное значение ширины сварного шва.

Аналогично для определения максимальной границы настроечного размера $a'_{н\max} = a_{\max} - 3\sigma$,

где a_{\max} – максимальное значение ширины сварного шва.

В этом случае допуск на настройку $\delta' = \delta_n - 6\sigma$. Так как настройка ведется по 3...5 образцам, то математическое ожидание имеет разброс в соответствии с

выражением $\frac{6\sigma}{\sqrt{m}}$, где m – значения замеров ширины сварного шва образцов.

Это обстоятельство требует ужесточения допуска на настройку $\delta' = \delta_n - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}}$.

$$a_{n \min} = a_{\min} + 3\sigma + \frac{3\sigma}{\sqrt{m}};$$

$$a_{n \max} = a_{\max} + 3\sigma + \frac{3\sigma}{\sqrt{m}};$$

$$\delta_n = \delta - 6\sigma \frac{6\sigma}{\sqrt{m}}.$$

В общем виде:
$$a_n = \frac{a_{\max} + a_{\min}}{2} \pm 0,5 \delta_n.$$

В процессе герметизации сварочные ролики нагреваются и изнашиваются, а ширина сварного шва увеличивается, поэтому необходимо через определенное количество изделий производить поднастройку (процесс восстановления первоначально установленного настроечного размера).

Процесс поднастройки состоит в реставрации сварочных роликов, которую можно проводить вручную с помощью специального приспособления, не снимая сварочные ролики. В случае, когда в месте контакта сварочных роликов с кромкой крышки корпуса возникает глубокая канавка или прожог, то производится замена сварочных роликов и переналадка установки герметизации. Количество изделий, которые можно загерметизировать без смены роликов, определяется экспериментально. Оборудование считается настроенным, если после 3...5 пробных процессов параметр a_n будет находиться в пределах допуска на настройку δ_n .

Поднастройка может проводиться автоматически через определенное время, которое устанавливается на основе статистических диаграмм. Однако этот метод имеет погрешность. Если поднастройка проводится раньше установленного времени, то это экономически не выгодно, если позже – возможен брак. Оптимальным следует

считать поднастройку оборудования по реально измеряемым значениям параметра с использованием активного контроля технологических режимов. Подбор режимов при этом проводится на образцах, в качестве которых можно использовать изделия, забракованные на предыдущих операциях по другим критериям.

Качество поверхности деталей. Качество поверхности деталей характеризуется геометрическими и физическими параметрами.

С геометрической точки зрения качество поверхности определяется отклонениями реальной поверхности от идеальной. Эти отклонения могут быть разделены на три группы: микронеровности (шероховатости), макронеровности (макроотклонения) и волнистость. Границу между этими группами можно установить по отношению шага L неровностей к высоте H : для микронеровности $L/H \leq 50$; для макронеровности (макроотклонения) $L/H > 100$; для волнистости $L/H = 50 \dots 1000$.

Основными технологическими факторами, влияющими на шероховатость обрабатываемой поверхности детали, являются геометрия и состояние режущей кромки инструмента, режимы резания, свойства обрабатываемого материала, вид смазывающего – охлаждающей жидкости и др. Качество поверхности заготовок определяется методом их получения. Заготовки, изготовляемые литьем, горячей штамповкой, прокаткой, в той или иной мере копируют поверхность рабочей формы или прокатных валков.

Шероховатость поверхности существенно влияет на многие эксплуатационные характеристики изделия, в частности на их износостойкость, прочность соединений, трение, коррозионную стойкость и др.

Оценка шероховатости производится с использованием методов и требований, изложенных в ГОСТ 2789 – 73, который разработан в соответствии с Международным стандартом на основе системы М⁸⁾. В системе М шероховатость измеряют от единой базы, за которую принята средняя линия профиля m (рис.1.17).

⁸⁾М – [англ. medium] - середина.

Средняя линия профиля m – базовая линия, имеющая форму номинального профиля поверхности и делящая измеряемый профиль так, что в пределах базовой линии l сумма квадратов расстояний $y_1, y_2 \dots y_n$ точек профиля до этой линии минимальна. Положение средней линии можно определить по профилограмме.

Базовая линия l – это длина участка поверхности, выбираемого для измерения шероховатости без учета других видов неровностей. Количественно шероховатость поверхности (независимо от способа ее получения) оценивается средним арифметическим отклонением профиля R_a , высотой неровностей профиля по десяти точкам R_z , наибольшей высотой неровностей профиля R_{max} , средним шагом неровностей S_m , средним шагом неровностей по вершинам S , относительной опорной длиной профиля t_p .

Большое число параметров для оценки шероховатости способствует установлению обоснованных требований к поверхности различного эксплуатационного назначения. Например, при циклической нагрузке ответственных деталей используют критерии R_{\max} , S_{\max} и S .

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a – среднее значение расстояний (без учета знаков) точек измеренного профиля до его средней линии на определенной длине участка поверхности.

Высота неровностей R_z определяется как среднее арифметическое расстояние между находящимися в пределах базовой длины пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин, измеренное от линии, параллельной средней линии.

С физической точки зрения качество поверхности оценивается состоянием поверхностного слоя (отклонением свойств верхних слоев материала от свойств основного материала).

Поверхностный слой не имеет резко выраженной границы, и его состояние изменяется по глубине неравномерно. Обычно наблюдаются три зоны. Первая зона (рельефный слой) характеризуется большими искажениями кристаллической решетки металла и повышенной твердостью. Во второй зоне (пластически деформированный слой) наблюдается вытягивание зерен, наволакивание одних зерен на другие и снижение твердости. В третьей зоне (напряженный, упругодеформированный слой) состояние нарушенного слоя постепенно приближается к состоянию основного материала.

Высота деформированного слоя определяется способом обработки (чем грубее обработка, тем больше дефектный слой).

Основными причинами появления дефектного слоя являются:

- упругие, пластические деформации и деформации разрушения, возникающие в процессе обработке;
- нагрев поверхностного слоя;
- химические явления, которые имеют место в зоне обработки (окисление, образование других химических соединений и др.).

Для обеспечения качества поверхности деталей предусматривается припуск на обработку.

Припуски на обработку. Слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности, называется *припуском*. К свойствам поверхности относятся размеры, форма, твердость, шероховатость и др. Слой материала удаляется с заготовки в том случае, когда качество поверхности заготовки не соответствует требованиям, предъявляемым к готовой детали. Припуск задается на сторону детали или диаметр отверстия, что оговаривается в чертеже.

Различают операционный, промежуточный и общий припуск. *Операционным* припуском называется слой материала, который удаляют с заготовки при выполнении данной операции. *Промежуточный* припуск представляет собой материал, который удаляется при выполнении одного технологического перехода. *Общий припуск* представляет собой сумму операционных и промежуточных припусков, то есть слой материала, который удаляют для получения готовой детали, то есть разность между размерами стороны заготовки и готовой детали.

Размер припуска не должен быть излишне большим, чтобы не было перерасхода материала, электроэнергии, инструментов, времени на обработку, и тем самым, увеличения себестоимости детали. Задача технолога уменьшить припуск. Однако чрезмерно малый припуск не позволяет удалять дефектный слой материала и получать требуемую точность и шероховатость, что может привести к образованию бракованных деталей.

Учитывая указанные обстоятельства, технолог обязан рассчитывать припуски, чтобы найти их оптимальную величину и правильно указать размер заготовки. Определение величины припусков производится опытно – статистическим и расчетно – аналитическим методами.

Опытно – статистический метод определения (назначения) припусков основан на определении припусков по опыту работы ряда передовых предприятий. Эти припуски сведены в таблицы справочников или заводские нормалы и ими пользуются при назначении припусков на операцию (переход). Этот метод не учитывает конкретных условий выполнения операции и рассчитан на такие условия обработки заготовки, при которых припуск должен быть наибольшим. Поэтому в ряде случаев припуски завышены, что является недостатком метода. Достоинство метода – простота. Поэтому его можно рекомендовать, главным образом, для единичного и мелкосерийного производства.

Методика назначения сводится к нахождению по справочникам припусков и допусков на каждую операцию, определению межоперационных размеров и размеров заготовки. При этом необходимо учитывать принятый метод получения заготовок (литье, холодная штамповка и др.) и технологический маршрут, чтобы соответственно операциям по обработке данной поверхности назначать припуск. Для удобства контроля и самоконтроля желательно каждое из выбираемых значений припуска обосновывать ссылкой на справочник с указанием номера таблицы и страницы, откуда принимались значения, и заносить эти значения в таблицу соответствующей формы. Зная величину припуска и допуска для каждой операции, можно изобразить графически поле припусков и допусков.

После заполнения всех граф таблицы все наибольшие z_{\max} и все наименьшие значения припусков z_{\min} суммируются. Разность между суммой наибольших $\sum z_{\max}$ и

суммой наименьших $\sum z_{\min}$ значений припусков должна равняться разности допусков на заготовку и готовую деталь.

Полученные в результате расчетов размеры заготовок и межоперационные размеры деталей следует сопоставить с заводскими значениями. Если на производстве в результате прогрессивной технологии припуски уменьшены по сравнению с расчетными значениями, то нужно принимать заводские данные, внося их в аналогичную таблицу расчета припусков. Штамповочные и литейные уклоны идут за счет увеличения размеров припусков.

Расчетно - аналитический метод определения припусков основан на том, что каждая операция (переход) для обработки поверхности должна устранить поврежденный слой и пространственные отклонения от правильной геометрической формы, связанные с обрабатываемой поверхностью (параллельность поверхностей, несоосность отверстий, изогнутость и др.), образовавшиеся при выполнении предыдущей операции (рис.1.18). Если же полученные размеры и качество поверхности удовлетворяют требованиям к готовой детали, то на этой операции следует остановиться и не производить последующие.

Кроме указанных величин в размер минимального припуска должна быть включена погрешность установки заготовки. Эта погрешность может привести к смещению заготовки, в результате чего инструмент не может снять поврежденный поверхностный слой. Минимальная величина припуска определяется из соотношения:

$$z_{i \min} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi},$$

где R_{zi-1} – высота неровностей; T_{i-1} – толщина нарушенного слоя; $\bar{\rho}_{i-1}$ – среднее значение отклонения геометрической формы; $\bar{\varepsilon}_{yi}$ – среднее значение погрешности установки.

Так как отклонения геометрической формы ρ_{i-1} и погрешности установки ε_{yi} являются пространственными отклонениями, то их суммируют геометрически:

для цилиндрических и фасонных поверхностей:

$$\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi} = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}.$$

для плоскостей:

$$\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_{yi} = \rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2.$$

При термообработке качество поверхности улучшается, поэтому нарушенный слой T_{i-1} отсутствует. При обработке чугуна T_{i-1} следует учитывать только на первой операции, где удаляется поврежденный слой заготовки.

Величины составляющих R_z ; T ; ρ уменьшаются после каждой операции механической обработки. Значения их определяются по справочникам.

Определение припусков расчетно – аналитическим методом более сложно, чем опытно – статистическим методом, поэтому его следует применять в серийном и мас-

совом производстве. Учитывая все особенности обработки заготовок, этот метод позволяет назначать оптимальные величины припусков, что способствует уменьшению расхода материала и ускорению обработки и снижать себестоимость.

Для расчета припусков по расчетно – аналитическому методу рекомендуется применять таблицы, графы которых в основном заполняются так же, как и при опытно – статистическом методе.

При определении размеров заготовок следует предусматривать увеличение рассчитанных величин на литейные и штамповочные уклоны.

Точность и качество поверхности деталей зависит от метода обработки. Для изготовления деталей используются размерная обработка, нанесение покрытий, процессы термической и химико - термической обработки.

Качество деталей после обработки должно соответствовать требованиям чертежа. Все обработанные поверхности подвергаются стопроцентному контролю измерением специальными шаблонами или измерительным инструментом, обеспечивающим точность измерения $\pm 0,005$ мм. Контроль шероховатости обработанных поверхностей осуществляется несколькими способами: сравнением с эталонами шероховатостей поверхностей ГОСТ 9378 -75 или при помощи измерения контактными и бесконтактными способами. Особенностью контроля качества деталей обработки является контроль дефектного слоя. Поверхность деталей приобретает характерные неровности, а приповерхностный слой местами претерпевает физико – химические изменения. Глубина дефектного слоя зависит от режимов обработки. При глубине дефектного слоя 100 мкм в результате электроэрозионной обработки на поверхностном слое деталей имеют место большие остаточные напряжения, приводящие к появлению микротрещин. При использовании ультразвуковой обработки в поверхностном слое деталей из твердых сплавов и закаленных сталей возникают остаточные напряжения, приводящие к появлению микротрещин.

Покрyтия. Для придания свойств, отличных от свойств основного материала, таких как электропроводность, электроизоляционные свойства, твердость, паяемость, износостойчивость, магнитные свойства, антикоррозионная стойкость, декоративность и др., на детали наносятся различные покрытия. *Покрyтие* как процесс представляет собой обработку, которая заключается в образовании на заготовке поверхностного слоя из инородного материала (например, анодирование, оксидирование, металлизация, окрашивание и т.д.).

Выбор вида покрытия и его толщины определяется материалом и назначением детали, особенностями технологии ее изготовления и условиями эксплуатации. Так, покрытия для улучшения электропроводности с одновременной защитой от коррозии в закрытых помещениях целесообразно выполнять никелем толщиной 3мкм, в условиях закрытых помещений без искусственного регулируемых климатических условий

– серебром толщиной до 9 мкм. Один и тот же вид покрытий часто применяют для различных целей.

При выборе материала металлических защитных покрытий стремятся не допускать образования гальванических пар, вызывающих коррозию основного металла детали.

В качестве материала *металлических защитных покрытий* используют:

- медь (для создания токопроводящих элементов на электроизоляционных материалах, а также для образования подслоя на металлических деталях);
- олово и его сплавы (для подготовки поверхности к пайке и герметизации изделий, а также для защиты изделий от коррозии);
- серебро и его сплавы (для повышения электропроводности и паяемости);
- золото (для коррозионной защиты от агрессивных сред, повышения электропроводности и теплопроводности);
- палладий (для защиты электрических контактов от электроэрозии, повышения износостойкости);
- хром (для защиты от коррозии, повышения жаростойкости, износостойкости и твердости);
- никель (для защитно – декоративных целей);
- кадмий (для защитных покрытий, работающих при трении и деформациях); - цинк (для защиты от коррозии).

Металлические покрытия наносят методом химического осаждения из растворов, горячим погружением в расплав, вакуумное испарение, катодное распыление, электронно – лучевое напыление и гальваническое нанесение.

Для получения *оксидных защитных пленок* на черных и цветных металлах используются щелочные или кислотные растворы сложного состава, которые взаимодействуют с основным материалом детали и образуют покрытия. Окисные и фосфатные покрытия получают методами анодного окисления в электролите, химической и электрохимической обработкой в солевых растворах.

Покрытия из пластмасс наносятся на детали из металла, тканей, бумаги, стекла с целью антикоррозионной защиты, защиты от влаги, декоративной отделки, повышенной химической стойкости, износостойкости. Для этого используют соединения поливинилхлоридных смол с пластификаторами, фторопласт и др. Пластмассовые покрытия создают окунанием в холодный жидкий компаунд или горячий расплав, пульверизацией суспензией на поверхность детали, помещением нагретой детали в псевдооживленный слой полимерного порошка, осаждением из газовой фазы, газоплазменным и электростатическими методами, плакированием плоских деталей.

Для окраски деталей радиоэлектронной аппаратуры наибольшее распространение получили такие *лакокрасочные материалы* как эпоксидные и перхлорвиниловые эмали, полиакриловые, эпоксидные и поливинилбутиральные грунты. Лакокрасочные

покрытия выполняют пневматическим и электростатическим распылением, струйным обливом, нанесением в псевдокипящем слое порошковых лакокрасочных материалов.

Выбор покрытий при конструировании деталей радиоэлектронной аппаратуры делают с учетом назначения детали, материала детали, условий эксплуатации, назначения покрытия, способа нанесения покрытия, совместимости сопрягаемых металлов и с учетом экономической целесообразности.

Для обеспечения требуемого сопряжения деталей в сборочных единицах необходимо занижение размеров деталей до нанесения покрытий с учетом необходимой толщины покрытий. Необходимо избегать нанесения покрытий на разъемные сборочные единицы в собранном виде. На детали, соединяемые в сборочные единицы свинчиванием, точечной сваркой, клепкой, запрессовкой и др., покрытия должны наноситься до сборки. При нарушении покрытий в процессе сборки следует предусмотреть защиту нарушений лакокрасочными покрытиями.

Для всех металлов и сплавов и всех условий эксплуатации для защиты от коррозии литых деталей рекомендуется наносить лакокрасочные покрытия.

Детали, изготовленные по 6...7 качеству точности, подвергаются только химическим покрытиям (оксидированию, фосфатированию), практически не изменяющим размеры деталей.

Без покрытия обычно применяют золото, платину, палладий, родий, серебро, бериллиевую бронзу, сплавы вольфрама, титана и др.

Для обозначения вида покрытия и краткой его характеристики в конструкторской и технологической документации принята буквенная и цифровая система: для металлических покрытий буквы указывают металл покрытия, цифра после буквы - его толщину в микрометрах, а буквы в конце шифра - дополнительные характеристики покрытия или характер дополнительной обработки (например, Н6 – никелевое покрытие толщиной 3мкм, полученное гальваническим методом). В шифрах химических покрытий буквы указывают метод получения и характер дополнительной обработки (например, Хим.Окс – окисное покрытие, нанесенное химическим способом).

При контроле качества металлических и неметаллических покрытий по ГОСТ 16875 – 71 проверяют внешний вид, толщину, пористость и прочность сцепления покрытия.

Контроль внешнего вида покрытия производят путем внешнего визуального осмотра деталей в помещении с освещенностью не менее 300 лк, а ответственные детали – через лупу десятикратного увеличения.

Контроль толщины покрытия осуществляют различными методами:

- физическими неразрушающими методами (магнитным, электромагнитным, радиоактивным методом вихревых токов);
- физическими разрушающими методами (металлографическим);

- химическими методами (капли, струи, снятия);
- электрохимическими методами (кулонометрическим).

Контроль пористости покрытия производят методами паст и наложения фильтровальной бумаги. При использовании соответствующих реактивов на испытуемой поверхности покрытия или фильтровальной бумаги, которую приводили в соприкосновение с покрытием, подсчитывают число окрашенных участков, соответствующих числу пор.

Контроль прочности сцепления покрытий осуществляют следующими методами: полирования, нагрева, навивки, нанесения сетки царапин, изгиба. После контроля этими методами не должны наблюдаться вздутия или отслаивания покрытия.

Необходимым условием обеспечения заданного качества покрытий (особенно серебряных, золотых, палладиевых) является соблюдение правил эксплуатации электролитов, их регулярный анализ. Особое внимание следует уделять подготовке поверхности деталей к покрытию. Строгое соблюдение технологии подготовки поверхности перед нанесением покрытия ведет к снижению брака, т.е. к экономии материалов, поэтому входной контроль перед нанесением покрытия экономически обоснован.

Процессы термической и химико – термической обработки деталей. Термическая обработка – это процесс теплового воздействия на детали преимущественно из металлов и сплавов с целью изменения структуры и свойств исходного материала без изменения его химического состава. Сочетание химического воздействия с тепловым называют химико – термической обработкой. При химико - термической обработке изменяется химический состав поверхностного слоя детали.

Термическая и химико – термическая обработка является важными этапами технологического процесса изготовления деталей и используются для улучшения обрабатываемости материалов давлением или резанием; для формирования технических, электрических, магнитных и других свойств, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства деталей, для снятия внутренних напряжений в материале деталей и заготовок, возникающих при предшествующей обработке давлением, литьем, сваркой и резанием и вызывающих нежелательные изменения свойств, формы и размеров деталей при их эксплуатации.

Результаты термической обработки и химико – термической обработки зависят от исходного состояния материала заготовок или полуфабрикатов перед выполнением обработки, режима и среды термообработки. Под состоянием исходного материала понимают процентное соотношение химических компонентов, образующих материал, фазовый и структурный его состав.

Параметрами термообработки являются температура нагрева, продолжительность изотермической выдержки при температуре нагрева, скорость нагрева, ско-

рость охлаждения. Для проведения термообработки применяют газовые или жидкие среды для нагрева и охлаждения.

Для предохранения материала изделий от взаимодействия печной атмосферы, вызывающего изменения их химического состава, в рабочее пространство нагревательного устройства или печи водят газовую контролируемую среду или создают вакуум.

Химико – термической обработке подвергаются в основном стальные детали с целью изменения химического состава, фазовой структуры и свойств их поверхностного слоя. Поверхность деталей насыщают углеродом, азотом, алюминием, хромом, кремнием и другими элементами путем диффузии их атомов из среды нагрева при высокой температуре. Среда для нагрева может быть твердой, жидкой и газовой. Для поверхностного насыщения необходимо последовательное протекание процессов образования активных атомов диффундирующих элементов в насыщенной нагревательной среде вблизи поверхностей деталей; адсорбции этих активных атомов поверхностями деталей и диффузии адсорбированных атомов в решетку насыщенного материала. Процессы диффузии протекают только при условии возможности растворимости диффундирующих элементов в материале детали.

Основными видами термообработки являются отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение, цементация, нитроцементация, азотирование, цианирование, борирование.

Отжиг - нагрев детали от начальной до доэвтектоидной⁹⁾ температуры, выдержка при этой температуре и медленное охлаждение вместе с печью;
нормализация - нагрев до доэвтектоидной или заэвтектоидной¹⁰⁾ температуры, непродолжительная выдержка и охлаждение на воздухе со скоростью большей, чем при отжиге; *закалка* - нагрев до доэвтектоидной температуры, изотермическая¹¹⁾ выдержка и охлаждение в специальных охлаждающих средах с высокой скоростью для фиксации высокотемпературного состояния сплава или предотвращения нежелательных процессов, происходящих при медленном охлаждении; *отпуск* - нагрев сплавов ниже температуры фазовых превращений, выдержка и охлаждение с определенной скоростью; завершает процесс термообработка, в результате которой окончательно формируются свойства закаливаемых и упрочняемых сплавов, снижаются внутренние напряжения; *старение* - изменение свойств сплавов за счет выделения дисперсных¹²⁾ частиц; при естественном старении процесс выделения дисперсных частиц происходит самопроизвольно в процессе длительной выдержки при комнатной температуре, искусственное старение происходит при изотермической выдержке; *цементация* - диффузионное насыщение углеродом поверхностного слоя детали толщиной 1...3 мкм при нагреве в специальной среде – карбюризаторе¹³⁾ (цементированные изделия приобретают окончательные свойства после закалки, отпуска и шлифования поверхности); *азотирование* - насыщение поверхностного слоя деталей азотом на глубину

7...15 мкм при погружении в аммиак (азотированию подвергаются детали после термической обработки и высокого отпуска); *нитроцементация* - одновременное насыщение поверхностного слоя углеродом и азотом на глубину 0,2...0,8 мкм; *цианирование* - разновидность нитроцементации, которое выполняется в расплавленных солях, содержащих группу *CN*; *борирование* - насыщение бором поверхностного слоя деталей толщиной 0,1...0,2 мм в расплавленной буре¹⁴⁾.

⁹⁾ Доэвтектоидная температура – температура, при которой еще не образуется эвтектика (тонкая смесь твердых веществ, одновременно выкристаллизовывающихся из расплава при температуре более низкой, чем температура плавления отдельных компонентов).

¹⁰⁾ Заэвтектоидная температура – температура, при которой образуется жидкий расплав или раствор, из которого возможна одновременная кристаллизация твердых веществ при температуре более низкой, чем температура плавления отдельных компонентов.

¹¹⁾ Изотермический процесс – процесс, проходящий при постоянной температуре.

¹²⁾ Дисперсные частицы – частицы раздробленного вещества.

¹³⁾ Карбюризатор (карбюратор) – твердое, газообразное или жидкое углеродистое вещество, способное отдавать углерод другому веществу.

¹⁴⁾ Бура – минерал, водосодержащий борат натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}$); применяется для очистки металлов при пайке, в керамической промышленности, как микроудобрение.

Основными дефектами, возникающими при термообработке, являются трещины, внутренние напряжения в материале и коробление.

Методы определения физических, химических и механических свойств материалов деталей, прошедших термообработку, разделяют на две группы: методы *непосредственного* определения свойств (измерение магнитной проницаемости, коэрцитивной силы, электрического сопротивления, твердости, предела прочности модуля упругости, коррозионной стойкости); *косвенные* методы определения, основанные на существовании связи между структурным строением и свойствами материалов деталей (методы микро- и макроанализа). Макроанализ дает быстрое определение толщины с точностью, достаточной для производственных условий. Для этой цели деталь – образец цементируют и закаливают, а затем ломают. Закаленный слой имеет более мелкое зерно и матовый излом, заметно отличающийся от вида излома сердцевины.

Распространенным, экономичным и достаточно оперативным методом контроля качества термообработки готовых деталей является замер их твердости. *Твердость* - это способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела.

Существуют различные методы определения твердости: вдавливание, царапание, упругая отдача. Наибольшее распространение получил метод вдавливания в ма-

териал стального шарика (твердость по Бринеллю), вдавливания конуса (твердость по Роквеллу), вдавливания пирамиды (твердость по Виккерсу).

Испытания материалов на твердость вдавливанием шарика по методу Бринелля проводят с помощью вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10,5 или 2,5 мм в испытываемый материал под действием нагрузки в течение определенного времени (рис.1.19). Диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой выбирают по специальным таблицам в зависимости от толщины и твердости материала.

Перед испытанием поверхность детали или образца зачищают напильником или наждачным кругом. Для уменьшения расхода материала и уменьшения стоимости деталей контролю подвергаются не сами детали, а детали – свидетели, которые подвергаются термообработке совместно с партией деталей.

После испытания диаметр отпечатка измеряют при помощи градуированного увеличительного стекла в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметр отпечатка d зависит от твердости материала.

Твердость по методу Бринелля определяется отношением численного значения нагрузки P к площади поверхности отпечатка и измеряется в ньютонах на квадратный метр (Н/м^2)

$$HB = \frac{P}{F_{от}} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где D - диаметр шарика, мм; d - диаметр отпечатка шарика, мм.

К недостаткам метода Бринелля относят невозможность определять твердость проволоки и изделий толщиной менее 3 мм; проведение испытаний на контрольных образцах, так как на рабочих деталях остаются заметные следы от вдавливания шарика; невозможность испытывать материалы, твердость которых выше твердости стального шарика (450 HB), так как при этом шарик начинает деформироваться и искажать показания; продолжительность процесса испытания.

Твердость материала по методу Роквелла определяют по глубине вдавливания в испытываемый материал стального шарика диаметром $d = 1,59$ мм под нагрузкой массой 100 кг или алмазного конуса с углом при вершине 120° нагрузках 60 и 150 кг на твердомерах.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку P_0 , а затем основную - P_1 . Твердость при этом характеризуется разностью глубин проникновения шарика или алмазного конуса $h - h_0$ под нагрузками $P = P_1 + P_0$ и P_0 (рис.1.20). Эта разность глубин определяется автоматическим индикатором, циферблат которого

разделен на 100 делений. Циферблат имеет черную и красную шкалы. При испытаниях шариком отсчет производят по красной шкале и твердость обозначают HRB при испытании алмазным конусом - по черной шкале и твердость обозначают HRC. Шариком определяют твердость мягких металлов, а алмазным конусом — твердых.

К достоинствам метода Роквелла относят измерение твердости в более широком диапазоне (до 700 ПВ); пригодность для определения твердости более тонких изделий, чем при методе Бринелля; наличие очень малых отпечатков на испытуемом образце. Этот метод позволяет быстро определить качество термообработки готовых деталей без их разрушения с точностью, достаточной для производства.

Недостатком метода является необходимость подготовки образцов, соответствующих определенным требованиям (толщина образца должна быть не менее 10 глубин вдавливания, диаметр круглых образцов не должен быть меньше 10 мм).

Твердость по *методу Виккерса* определяют вдавливанием в испытуемый материал алмазной пирамиды с углом при вершине 136° под нагрузкой. В результате на поверхности образца остается квадратный отпечаток, длина диагонали которого характеризует твердость материала. Чем больше диагональ, тем ниже твердость. Диагонали измеряют с помощью микроскопа. Твердость по методу Виккерса *HV* определяют по таблицам в зависимости от длин диагоналей отпечатка (рис.1.21). Этим методом можно измерять твердость мягких и твердых материал при малой толщине образцов и деталей.

Недостатки метода - длительность процесса замера и необходимость тщательной подготовки образца.

Контрольные вопросы

1. Какие изделия относятся к специфицированным и не специфицированным?
2. Чем отличается комплект от комплекса?
3. Какими показателями характеризуется качество изделий?
4. Какие виды контроля используют для оценки качества изделий?
5. По каким выборкам набирают статистические данные для контроля технологического процесса?
6. Какие виды погрешностей возникают в процессе измерения показателей качества?

Тема 9 Методы оценки технологичности изделий

В соответствии с ГОСТ 14.205 – 83 под *технологичностью изделия* понимают совокупность технических и других характеристик изделия, определяющих их при-

способленность к достижению оптимальных затрат (изготавливать его наиболее рациональными способами) при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества.

Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкций изделий приведено в ГОСТ 14.201 – 83 «Общие правила обеспечения технологичности конструкции изделий». Показатели технологичности подразделяются на основные и дополнительные.

О с н о в н ы е п о к а з а т е л и характеризуют важнейшие признаки конструкции изделия. Наиболее важными из них являются трудоемкость изделия и технологическая себестоимость. Основные показатели подразделяют на базовые и достигнутые. *Базовые значения* показателей технологичности вносятся в техническое задание на разработку конструкции изделия. В отраслевых стандартах, разрабатываемых на основе государственных стандартов, приводится номенклатура базовых (частных) показателей и методика их определения. *Достигнутые значения* основного показателя технологичности представляет собой значение, полученное на данной стадии разработки конструкторской документации.

Д о п о л н и т е л ь н ы е п о к а з а т е л и технологичности характеризуют технологичность конструкции изделия по какому – либо одному признаку.

Например, относительная трудоемкость различного рода работ (регулируемые, сборочно – монтажные и др.).

Номенклатура базовых и достигнутых показателей технологичности устанавливаются в каждом конкретном случае проведения технологической подготовки производства отраслевыми стандартами и ГОСТ 14.201 – 83. ГОСТ 14.201 – 83 предусматривает основные пути отработки конструкторской документации на технологичность, но не учитывает особенности отработки конструкции на уровне производства.

Требования, предъявляемые к технологичности конструкции, меняются в зависимости от вида изделия, объема выпуска и типа производства.

Необходимо учитывать, что многие изделия, технологичные для крупносерийного и массового производства, нетехнологичны для единичного и мелкосерийного производства.

Технологичность конструкции изделия закладывается в процессе его проектирования, поэтому необходимо, чтобы при проектировании наряду с конструктором принимал участие и технолог, который при технологическом анализе чертежей, выполненных конструктором, исключал бы нетехнологичные элементы.

При разработке технического задания на изделие для обеспечения показателей технологичности в общем случае специалисты проводят следующие виды работ:

- сбор информации о технологичности конструкций изделий – аналогов;
- определение требований к технологичности разрабатываемой конструкции изделия;

- количественный анализ ранее разработанных базовых конструкций с целью определения базовых показателей и уровня технологичности для сопоставления и оценки уровня технологичности вновь разрабатываемых изделий;
- качественный анализ вновь разрабатываемых конструкций по стадиям проектирования с определением их уровня технологичности, на основе сравнения различных вариантов;
- выбор номенклатуры базовых показателей технологичности;
- расчет значений базовых показателей технологичности.

Классификация показателей технологичности показана на рис. 5.5.

Технологичная конструкция детали, отвечая всем эксплуатационным требованиям, обеспечивает ее изготовление в конкретных условиях производства с оптимальными затратами времени, труда и материалов. Технологичность детали определяется малыми трудоемкостью и материалоемкостью и высоким коэффициентом использования материала.

Технологичность конструкции изделия в целом определяется степенью применения унифицированных и стандартизованных деталей и сборочных единиц, а также деталей и сборочных единиц, применяемых из других, ранее освоенных, изделий и поступающих по кооперации.

Оценка технологичности приборов. Методика расчета основных показателей технологичности конструкции изделия предполагает использование статистических данных о ранее созданных конструкциях, имеющих общие конструктивно – технологические признаки, с вновь разрабатываемой конструкцией, использование аналогов или типовых представителей.

Технологичность конструкции оценивают количественно и качественно.

Качественная оценка технологичности характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя. Такая оценка допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения и не требуется определения степени технологичности сравниваемых вариантов. Качественная оценка в процессе проектирования предшествует количественной и определяет целесообразность ее проведения.

Количественная оценка осуществляется с помощью системы показателей технологичности. Численное значение каждого показателя технологичности характеризует степень удовлетворения требований к технологичности конструкции по одному какому – либо признаку или по комплексному признаку (совокупности нескольких признаков).

По способу выражения характеризующих признаков показатели технологичности могут быть абсолютные и относительные, а по количеству признаков – частные и комплексные. *Частный показатель технологичности* конструкции изделия характеризует одно из входящих в нее свойств, а *комплексный*

комплексный показатель технологичности – несколько входящих в него частных и комплексных свойств.

При оценке технологичности необходимо исходить из того, что кроме технологичности отдельно взятой детали есть технологичность изделия в целом.

С позиций технологичности сборки следует учитывать возможность расчленения прибора на максимальное число сборочных единиц, которые можно собирать, регулировать и проверять независимо друг от друга. Необходимо учитывать возможность расширения уровня взаимозаменяемости их, исключающего трудоемкие подгонные операции и дающего возможность автоматизировать сборочные работы. Из сборки следует исключать неразъемные соединения сборочных единиц; обеспечивать надежную фиксацию сборочных единиц, допускающую неоднократную установку и съем; легкую регулировку и удобство подключения приборов к стендам для испытания и контроля; создавать возможность замены изношенной детали или сборочной единицы без разборки всего механизма.

Конструкция приборов должна быть технологичной, а сборка, эксплуатация и ремонт приборов должны быть удобными и простыми.

Технологичность конструкций приборов оценивается следующими показателями (коэффициентами).

Коэффициент относительной трудоемкости механической обработки: $K_m = T_m / T_\Sigma$, где T_m – суммарное штучное время механической обработки деталей в нормо – часах; T_Σ – суммарная трудоемкость изделия в нормо – часах.

Коэффициент относительной трудоемкости сборки: $K_{сб} = T_{сб} / T_\Sigma$, где $T_{сб}$ – суммарное штучное время сборочных работ, включая общую, узловые сборки и испытания в нормо – часах.

Коэффициент относительной трудоемкости заготовительных работ: $K_3 = T_3 / T_\Sigma$, где T_3 – сумма штучных времен изготовления заготовок в нормо – часах.

Коэффициент использования металла: $\lambda_m = Q_0 / Q_3$, где Q_0 – масса единицы изделия (на 1000 штук изделий); Q_3 – масса металла, затраченного на изготовление изделия (или 1000 штук изделий), кг.

Коэффициент применяемости: $q_{пр} = N_3 (N_{дн} - N_{нн})$, где N_3 – количество заимствованных деталей или сборочных единиц от других изделий, шт; $N_{дн}$ – общее количество наименований деталей в изделии, шт; $N_{нн}$ – количество нормализованных и стандартизованных наименований деталей, шт.

Коэффициент нормализации: $q_n = N_{нн} / N_{дн}$;

Коэффициент повторяемости: $q_{пов} = N_{дн} / N_d$, где N_d – количество деталей в изделии, шт.

Коэффициент относительного количества наименований холодных листовых штамповок к общему количеству наименований деталей:

$$K_{хш} = n_{хшн} / N_{дн},$$

где $n_{\text{хштн}}$ – количество наименований листоштампованных деталей, шт.

Относительное количество наименований точеных деталей и заготовок к общему количеству деталей:

$$m = n_{\text{тн}} / N_{\text{дн}},$$

где $n_{\text{тн}}$ - количество наименований точеных деталей и заготовок, шт.

Из рассмотрения показателей технологичности изделий следует, что отдельная деталь, имеющая хорошие показатели технологичности при ее изготовлении, может вызвать увеличение стоимости и трудоемкости сборки и испытания всего изделия. Поэтому полную оценку технологичности отдельно взятой детали можно дать только с учетом затрат не только при изготовлении, но и при использовании ее при сборке, испытании изделия, а в ряде случаев и при эксплуатации.

Технологичность сложных конструкций. К сложным конструкциям будем относить конструкции, состоящие из большого числа сборочных единиц и деталей. Технологичность сложных конструкций оценивается несколькими группами технико – экономических показателей, основные из которых трудоемкость изготовления, уровень технологичности по трудоемкости, себестоимость изготовления, уровень технологичности по себестоимости.

Т р у д о е м к о с т ь к о н с т р у к ц и и $T_{\text{и}}$ определяют укрупненно по типовым представителям составных частей изделия. Значение трудоемкости изготовления изделия вносится в техническое задание как базовый показатель, а затем контролируется на каждом этапе разработки рабочей документации. Трудоемкость изделия, которая определяется на стадии разработки технического задания, определяется базовым показателем технологичности $T_{\text{и.б}}$, который является расчетной величиной. Согласно ОСТ4.091.175 – 81 трудоемкость, устанавливаемая в техническом задании, является лимитной $T_{\text{л}}$. Базовый показатель технологичности определяется из соотношения:

$$T_{\text{л}} = \alpha T_{\text{и.б}}, \text{ при } \alpha \leq 1 \text{ (обычно } \alpha < 1 \text{)}.$$

На стадии разработки рабочей документации $T_{\text{и}} \leq T_{\text{л}}$.

Лимитная трудоемкость представляет собой предельно допустимые затраты на производство изделия.

На разных стадиях разработки технической документации показатель технологичности имеет разные названия: на стадии разработки эскизного проекта – лимитная; на стадии разработки рабочего проекта – проектная; определенная при изготовлении установочной партии – директивная.

Трудоемкость изготовления изделия на стадии технического задания оценивается по формуле:

$$T_{\text{и.б}} = T_{\text{и.а}} K_{\text{сл}} K_{\text{т.с}} K_N,$$

где $T_{\text{и.а}}$ - трудоемкость изготовления изделия – аналога; $K_{\text{сл}}$ - коэффициент сложности, учитывающей степень технического совершенства разрабатываемого изделия по

сравнению с изделием – аналогом (выбирается ориентировочно экспертным методом); $\kappa_{сл}$ – коэффициент снижения трудоемкости; κ_N – коэффициент, устанавливающий изменение трудоемкости изготовления при изменении программы выпуска разрабатываемого изделия.

На стадии разработки эскизного и технического проектов для оценки трудоемкости пользуются формулой:

$$T_{л} = Ц_{п.у} N_T \kappa_{п},$$

$$T_{л} = Ц_{п.у} N_T \kappa_{п},$$

Где $Ц_{п}$ – утвержденная планово – условная цена изделия; N_T – норматив времени трудоемкости на рубль планово- условной цены (определяется по таблице); $\kappa_{п}$ – поправочный коэффициент, учитывающий тип производства изделия, который аналогичен коэффициенту κ_N .

На стадии разработки рабочей документации разработана не только конструкторская, но и технологическая документация трудоемкость разрабатываемого изделия определяется достаточно точно, выбирая в качестве типовых представителей наиболее характерные для данного изделия сборочные единицы. На этой стадии трудоемкость определяют по формуле:

$$T_{и} = \sum T_{ie} = n_{ie} + \sum T_{ид} n_{ид} + T_{сд} + T_{ис},$$

где T_{ie} – трудоемкость изготовления i -й сборочной единицы; $T_{ид}$ – трудоемкость изготовления i -й детали, не вошедшей в состав при подсчете T_{ie} ; n_{ie} , $n_{ид}$ – количество сборочных единиц и i -х деталей; $T_{сд}$, $T_{ис}$ – трудоемкость общей сборки и испытания изделия.

Уровень технологичности по трудоемкости изготовления:

$$K_{ут} = T_{и} / T_{би}, \text{ где } T_{би} = T_a K_{сл} K_T.$$

где $T_{би}$ – базовый показатель трудоемкости изготовления изделия (определяется по аналогичной конструкции, освоенной в производстве); T_a – трудоемкость конструкции, являющейся аналогом проектируемого изделия; $K_{сл} = P/P_a$ – коэффициент сложности проектируемой конструкции; P – технический параметр конструкции проектируемого изделия (масса конструкции, мощность, скорость перемещения и др.); P_a – технический параметр конструкции аналога, или параметр, полученный по статическим данным; $K_T = [100 / (100 + K_{пт})] t_{np}$ – коэффициент снижения трудоемкости; $K_{пт}$ – планируемый рост производительности труда; t_{np} – период времени от начала проектирования до запуска в производство.

Уровень технологичности по технологической себестоимости определяют как отношение достигнутой себестоимости изделия C_T к базовому показателю технологической себестоимости изделия $C_{бт}$:

$$K_{ус} = C_T / C_{бт}.$$

Технологичность конструкций электронных блоков. Базовые показатели технологичности для электронных блоков, определяемые на стадии разработки рабо-

чей документации, их ранжированная последовательность по весовой значимости показаны в табл. 5.1

Т а б л и ц а 5.1. **Базовые показатели технологичности электронных блоков**

Порядковый номер в ранжированной последовательности i	Показатели технологичности	Обозначение	Коэффициент Φ_i
1	Коэффициент использования микросхем и микросборок в блоке		
2	Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделий	$K_{и м с}$	1,000
3	Коэффициент автоматизации и механизации подготовки электрорадиоэлементов	$K_{а.м}$	1,000
4	Коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров	$K_{м.п.ЭРЭ}$	0,750
5	Коэффициент повторяемости электрорадиоэлементов	$K_{м.к.н}$	0,500
6	Коэффициент применяемости электрорадиоэлементов	$K_{пов.ЭРЭ}$	0,310
7	Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{п.ЭРЭ}$	0,187
		K_{ϕ}	0,110

Коэффициент Φ_i зависит от порядкового номера основных показателей технологичности, ранжированная последовательность которых устанавливается экспертным путем:

$$\Phi = i / 2^{i-1},$$

где i - порядковый номер показателя ранжированной последовательности.

Коэффициент использования микросхем и микросборок в блоке

$$K_{и м с} = N_{мс} / N_{ЭРЭ},$$

где $N_{мс}$ – общее количество микросхем и микросборок в изделии, шт; $N_{ЭРЭ}$ – общее количество электрорадиоэлементов (ЭРЭ), шт. К электрорадио-элементам относятся транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы, индуктивности.

Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделий:

$$K_{a.m} = N_{a.m} / N_m,$$

где $N_{a.m}$ – количество монтажных соединений, которые могут осуществляться механизированным или автоматизированным способом, шт; N_m – общее количество монтажных соединений, шт. Количество монтажных соединений определяется подсчетом выводов навесных элементов, штырей, петель объемного проводного монтажа, проводов – перемычек, пользуясь сборочным чертежом изделия. С учетом применяемых способов пайки, наличия и обоснованности применения оборудования, типа производства оценивается возможность механизации пайки.

Коэффициент автоматизации и механизации подготовки электрорадиоэлементов к монтажу:

$$K_{m.п.ЭРЭ} = N_{m.п.ЭРЭ} / N_{ЭРЭ},$$

где $N_{m.п.ЭРЭ}$ – количество электрорадиоэлементов, подготовка которых к монтажу может осуществляться механизированным или автоматизированным способом, шт. Возможность механизации подготовки выводов навесных элементов к монтажу определяется наличием стандартных форм выводов, типом и типоразмерами их корпусов. Под типоразмером электрорадиоэлементов понимается габаритный размер без учета номинальных значений. Целесообразность применения приспособлений для формовки выводов с ручным приводом или механизированных устройств определяется количеством элементов и видов формовки.....

Коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров:

$$K_{m.k.h} = N_{m.k.h} / N_{k.h},$$

где $N_{m.k.h}$ – количество операций контроля и настройки, которое можно осуществить механизированным и автоматизированным способом, шт. В число таких операций включаются операции, не требующие средств механизации; $N_{k.h}$ – общее количество операций контроля и настройки, шт. Функциональные параметры платы контролируются на специальных стендах. Коэффициент механизации контроля и настройки электронных узлов относительно невелик.

Коэффициент повторяемости электрорадиоэлементов:

$$K_{пов.ЭРЭ} = 1 - N_{т.ЭРЭ} / N_{ЭРЭ},$$

где $N_{т.ЭРЭ}$ – общее количество типоразмеров электрорадиоэлементов в изделии, шт.

Коэффициент применяемости электрорадиоэлементов:

$$K_{п.ЭРЭ} = 1 - N_{т.ор.ЭРЭ} / N_{ЭРЭ},$$

где $N_{т.ор.ЭРЭ}$ – количество оригинальных типоразмеров электрорадиоэлементов в изделии, шт.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей:

$$K_{ф} = N_{пр} / N,$$

где $N_{\text{пр}}$ – количество деталей, полученных прогрессивными методами формообразования (штамповкой, прессованием, литьем под давлением и т.д.), шт; N , - общее количество деталей (без нормализованного крепежа) в изделии, шт.

Основным показателем, используемым для оценки технологичности конструкции, является *комплексный показатель технологичности конструкции изделия*:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i} = \frac{K_1\varphi_1 + K_2\varphi_2 + \dots + K_n\varphi_n}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n},$$

K_i - значение показателя, определяемого по таблице состава базовых показателей; φ_i – коэффициент, нормирующий весовую значимость показателя в зависимости от его порядкового номера в таблице; n - общее количество частных показателей; i – порядковый номер показателя в ранжированной последовательности.

Уровень технологичности конструкции изделия при известном нормативном показателе оценивается отношением полученного комплексного показателя к нормативному, которое должно удовлетворять условию $K / K_n \geq 1$.

Нормативное значение показателя технологичности конструкций K_n блоков электронно – вычислительной техники для условий серийного производства составляет 0,5...0,8, а для опытного производства – 0,4...0,7.

При анализе полученных результатов необходимо учитывать сложность изделия и уровень основного производства завода – изготовителя.

В соответствии с ГОСТ 14.201 – 83 и отраслевым стандартом ОСТ4 ГО.091.219 предусматривается выбор состава базовых конструкторских и технологических показателей технологичности конструкции изделия в количестве не более семи основных показателей. В состав основных показателей необходимо включать показатели, которые оказывают наибольшее влияние на технологичность конструкции изделия.

Тема 10 Проектирование технологических процессов

В технической подготовке производства различают конструкторскую и технологическую части. Конструкторская часть связана с проектированием изделия. Технологическая подготовка производства регламентируется комплексом государственных стандартов ЕСТПП. Одной из важнейших задач ТПП является разработка технологических процессов. Стандарты ЕСТПП обязывают вести разработку технологических процессов только на изделия, конструкция которых удовлетворяет требованиям технологичности.

Под *проектированием технологического процесса* изготовления изделия понимают составление технической документации для производства продукции в конкретных условиях при заданной программе выпуска с соблюдением технологического и экономического принципа. *Технологический принцип* – это надежное обеспечение требований чертежа за счет рационального построения процесса (маршрута, оборудования, инструментов, режимов резания и норм времени); *экономический принцип* – обеспечение себестоимости, не большей, чем в любом другом варианте.

Общие правила разработки технологических процессов содержатся в третьей группе стандартов единой системы технологической подготовки производства (например, Р50. 54 – 93 - 88 ЕСТПП «Общие правила разработки технологических процессов»; Р50 – 609 – 40 - 88 ЕСТПП «Правила разработки процессов контроля» и т.д.).

Основные этапы разработки технологических процессов, задачи, решаемые на каждом этапе, документы, обеспечивающие решение этих задач, регламентируются ГОСТ 14.301-83 и показаны в таблице 5.2.

Т а б л и ц а 5.2. Основные этапы разработки технологических процессов

Номер этапа	Наименование этапа	Решаемые задачи на этапе	Основные необходимые документы
1	Анализ исходных данных для разработки ТЗ и проектирование ТП	Ознакомление с назначением и конструкцией изделия с требованиями к изготовлению и эксплуатации. Выбор дополнительной информации для разработки ТП	Конструкторская документация и сведения о программе выпуска
3	Выбор исходной заготовки и методов ее изготовления	Выбор метода изготовления исходной заготовки и базирования ее составных частей. Техно-экономическое обоснование выбора заготовки	Документы по п.2. Методика расчета технико-экономической оценки выбора заготовки
4	Составление технологического маршрута	Определение последовательности технологических	Документация типового, группового или единичного технологического процесса

Номер этапа	Наименование этапа	Решаемые задачи на этапе	Основные необходимые документы
		операций. Определение состава средств технологического оснащения	
5	Разработка технологических операций	Разработка последовательности переходов в технологических операциях. Выбор и определение средств технологического оснащения, средств механизации и автоматизации, а также режимов обработки, регулировки и т.д.	Стандарты ЕСТП по выбору средств технологического оснащения и другие нормативные документы
6	Нормирование технологических процессов	Расчет и нормирование труда на выполнение техпроцесса. Расчет норм расхода материалов. Определение профессии и разряда работ в зависимости от сложности операции.	Классификаторы разрядов работ и профессий. Методика разработки норм времени. Нормативы времени и расхода материалов
7	Определение требований техники безопасности	Разработка или выбор требований техники безопасности и производственной санитарии	Стандарты ССБТ. Инструкции по технике безопасности и промсанитарии
8	Расчет экономической эффективности технологического процесса	Выбор оптимального варианта технологического процесса	Методика расчета экономической эффективности технологических процессов

Номер этапа	Наименование этапа	Решаемые задачи на этапе	Основные необходимые документы
9	Оформление технологических процессов	Нормоконтроль и согласование документации технологических процессов со службами и ее утверждение	Стандарты ЕСТД, ЕСТПП

Необходимость каждого этапа разработки технологического процесса, состав задач, виды основных документов и последовательность их решения определяются в зависимости от вида изделия и типа производства.

При разработке ТП используются три вида исходной информации: *базовая*, содержащаяся в конструкторской документации на изделие (технические условия, комплект конструкторской документации, технологический классификатор изделий, стандарты типовых технологических процессов) и годовая программа выпуска деталей; *руководящая* (данные, помещенные в стандартах ЕСТПП, РУК, специальных требованиях и технологических инструкциях предприятия; *справочная* (находящаяся в справочниках, каталогах, описаниях действующих унифицированных ТП).

Применение унифицированных ТП позволяет вместо разработки новых подобрать действующие технологические процессы, оснастку и использовать с незначительной доработкой применительно к данной детали, что значительно сокращает трудоемкость выбора вида ТП, исходной заготовки и состояния исходного материала для обработки и переработки, маршрута, оборудования и т.д.

Существенной особенностью разработки технологических процессов является то, что окончательное решение всех задач находят параллельно, методом постепенных приближений, уточнения решения одних задач после решения других.

В общем случае разработка документации на изготовление изделия включает выполнение следующих работ.

1. Выбор вида технологического процесса и подбор ранее разработанного унифицированного технологического процесса, если такая возможность имеется.
2. Выбор вида исходной заготовки или состояния исходного материала для обработки или переработки в изделие.
3. Определение предварительного содержания операций, схем установки заготовок и последовательности выполнения операций (маршрута операций).
4. Выбор и заказ технологического оборудования, оснастки и средств механизации и автоматизации производственного процесса. Уточнение содержания операций.

5. Выбор и расчет режимов обработки, нормирование переходов и операций ТП, определение профессий и квалификации исполнителей.
6. Расчет и проектирование производственных участков, составление планировок размещения оборудования и разработка операций перемещения изделий и отходов.
7. Выбор и назначение внутрицеховых подъемно – транспортных средств.
8. Оформление рабочей технологической документации.

Оптимизация технологических процессов. Для оптимизации технологических процессов используются статистические методы математического моделирования и оптимизации.

Описание технологических процессов в математической форме (математическое моделирование) является важнейшей задачей современного производства. Пользуясь математическими моделями, можно правильно и корректно, с научной точки зрения, разрабатывать, анализировать и оптимизировать технологические процессы, а также наиболее эффективно управлять ими с целью обеспечения требуемой точности, надежности, экономичности и производительности.

Важнейшим требованием, предъявляемым к моделям, является требование точно и правильно описывать качественные и количественные характеристики моделируемого технологического процесса, т.е. модель должна быть *адекватна* реальному процессу.

Для получения математической модели используется метод планирования эксперимента. В основу этого метода заложен активный эксперимент, который проводится по заранее составленному плану. Этими планами предусматривается минимально необходимое число опытов при одновременном и преднамеренном изменении всех параметров, влияющих на технологический процесс, что позволяет установить характер и силу взаимодействия параметров, дает возможность более точно воспроизвести реальные условия протекания процесса и получить математическую модель. Полученная таким образом математическая модель является функцией отклика (целевой функцией), связывающей параметр оптимизации с переменными управляемыми факторами, $Y = F(X_1, X_2, \dots, X_K)$.

Пространство с координатными осями, по которым отсчитывают значения факторов X_1, X_2, \dots, X_K , называют *факторным (многофакторным) пространством*, а геометрическое место точек, соответствующих функции отклика в факторном пространстве, представляет собой *поверхность отклика*.

При использовании статистических методов математическая модель параметра оптимизации (поверхности отклика) представляется в виде полинома первой или второй степени.

Нелинейная модель в общем виде учитывает взаимосвязи технологических факторов и квадратичные эффекты в соответствии с уравнением

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^k \beta_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2$$

Изменение величины y носит не детерминированный, а случайный характер, так как в реальном технологическом процессе существуют неконтролируемые и неуправляемые переменные. Вследствие этого при обработке экспериментальных данных получают так называемые *выборочные коэффициенты* b_0 , b_j , b_{uj} и b_{jj} , которые являются оценками соответствующих теоретических коэффициентов β_0 , β_j , β_{uj} и β_{jj} .

Математическую модель технологического процесса, полученную по экспериментальным данным, записывают в виде:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^k b_{uj} x_u x_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2$$

где b_0 - свободный член уравнения; b_j - коэффициенты, учитывающие линейные эффекты; b_{uj} - коэффициенты, учитывающие эффекты взаимодействия; b_{jj} - коэффициенты, учитывающие квадратичные эффекты.

Перечисленные коэффициенты вычисляют по экспериментальным данным с использованием математических методов планирования экспериментов.

С целью упрощения заполнения матриц планирования и обработки экспериментальных данных пользуются преобразованием абсолютных (натуральных) технологических факторов \tilde{x}_j в относительные (безразмерные) x_j . Такой переход носит название кодирования факторов. Формула кодирования имеет вид

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_j^0}{\Delta x_j}, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

где x_j - кодированное (безразмерное) значения фактора; \tilde{x}_j - натуральное значение фактора (верхнее или нижнее); \tilde{x}_j^0 - натуральное значение основного уровня фактора, относительно проводится его варьирование; Δx_j - интервал варьирования в натуральных единицах измерения j -го фактора; j - номер фактора; k - число факторов, определяющих режим технологического процесса.

Масштабы по осям значений факторов выбираются таким образом, чтобы в безразмерной системе координат верхний уровень каждого фактора был равен +1, нижний уровень -1 и основной уровень равен нулю (совпадает с началом безразмерной системы координат).

Матрица планирования для многих факторов оказывается весьма громоздкой. Для сокращения пользуются алгебраической формой записи. При этом верхний уровень фактора обозначается строчной буквой латинского алфавита в следующем порядке: 1-й фактор – первая буква алфавита; 2-й фактор – вторая буква и т.д. Опыты, в которых все факторы находятся на нижнем уровне, обозначаются единицей (1).

Матрицы планирования, независимо от числа факторов, обладают следующими общими свойствами.

1. *Симметричность* относительно центра эксперимента, которая выражается в том, что алгебраическая сумма элементов столбца каждого фактора равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} = 0,$$

где N – число опытов (равно числу строк в матрице планирования); j – номер фактора, $j = 1, 2, \dots, k$; i – номер строки, $i = 1, 2, \dots, N$.

2. *Нормированность* выражающейся в том, что сумма квадратов элементов каждого столбца равна числу опытов:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N,$$

эти свойства характерны для столбцов матрицы планирования; следующее свойство относится к совокупности столбцов;

3. *Ортогональность матрицы*, проявляющаяся в том, что сумма почленных произведений элементов любых двух столбцов равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} x_{ui} = 0,$$

где $u \neq j$ номера разных факторов; $u, j = 0, 1, 2, \dots, k$. Фактор с нулевым индексом называется фиктивным и вводится для удобства вычисления коэффициента b_0 , а также для проверки свойства ортогональности матрицы. Фиктивный фактор вводится в матрицу планирования путем добавления столбика 2 – со значением +1 по всем опытам (таблица 5.4);

4. Матрицы планирования должны обладать свойством *рототабельности*, под которым понимается одинаковая точность предсказания параметра оптимизации на равных расстояниях от центра эксперимента независимо от направления. Рототабельность матрицы обеспечивается специальным подбором экспериментальных точек в факторном пространстве.

В соответствии с условиями, записанными в матрице, проводится полный факторный эксперимент (ПФЭ) и выявляются значения параметра оптимизации y_i для всех опытов.

Коэффициенты математической модели, вычисленные по экспериментальным данным, полученным в реальных производственных условиях, подвержены случайным колебаниям. Это приводит к необходимости оценки их значимости по критерию Стьюдента. Оценка изменчивости коэффициентов проводится по величине дисперсии воспроизводимости с учетом повторных опытов согласно формуле:

$$S_{bn}^2 = \frac{\sum_{q=1}^{\gamma} \sum_{i=1}^N (y_{iq} - \tilde{y}_i)^2}{N(\gamma - 1)}, \quad (7)$$

где q - номера повторных опытов; γ - число повторных опытов; y_{iq} - значение параметра оптимизации в каждом отдельном опыте; \tilde{y}_i - среднее значение параметра оптимизации для i -й строки.

При двукратном повторении опытов ($\gamma = 2$) формула (7) принимает вид:

$$S_{bn}^2 = \frac{2 \sum_{i=1}^N (y_{iq} - \tilde{y}_i)^2}{N}, \quad (8)$$

Оценка значимости коэффициентов линейной модели с помощью критерия Стьюдента производится в соответствии с формулой:

$$|b| > \frac{t S_{bn}}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

где t - значение критерия Стьюдента, которое выбирается из Приложения 6 в зависимости от числа степеней свободы f и заданного доверительного уровня P ; обычно принимают $P = 0,95$.

Число степеней свободы выбирается одним из следующих способов:

- при повторении опытов γ раз по одной строке принимается $f = \gamma - 1$;
- при повторении опытов γ раз по всем строчкам матрицы планирования берется $f = N(\gamma - 1)$.

Коэффициенты, величина которых не отвечает требованиям уравнения (9), считаются незначимыми и они вместе с переменными исключаются из математической модели технологического процесса.

Полученную математическую модель проверяют на адекватность с целью выявления степени ее соответствия реальному технологическому процессу. Адекват-

ность оценивают по критерию Фишера. Для этого вычисляют дисперсию адекватности, учитывающую отклонение расчетных значений параметра оптимизации от экспериментальных данных. Модель считают адекватной, если расчетная величина критерия Фишера не будет превышать табличного значения.

На завершающей стадии эксперимент переносится в околооптимальную область поверхности отклика, где становятся значимыми не только эффекты взаимодействия, но и квадратические эффекты. Описание этой части поверхности отклика должно производиться полиномом второго порядка в виде, например уравнения (2). Оценка коэффициентов этого уравнения требует при проведении опытов варьировать факторы не на двух, а на трех уровнях. Но полный факторный эксперимент типа 3^k требует большого числа опытов, резко увеличивающихся с возрастанием числа факторов.

Для сокращения опытов Бокс и Уилсон предложили *композиционные планы*. Ядром этих опытов являются линейные ортогональные планы типа полный факторный эксперимент типа 2^k при $k < 5$ или дробная реплика от него типа дробный факторный эксперимент типа 2^{k-p} при $k \geq 5$. Линейный план достраивается до плана второго порядка, для чего необходимо:

- добавить $2k$ «звездных» точек, расположенных на координатных осях факторного пространства $(\pm a, 0, \dots, 0)$, $(0, \pm a, 0, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, \pm a)$, где a - расстояние от центра плана до «звездной» точки, называемое «звездным» плечом;
- увеличить число экспериментов в центре плана n_0 .

Общее число опытов в матрице композиционного плана при k факторах составит:

$$\begin{aligned} N &= 2^k + 2k + n_0, & k < 5 \\ N &= 2^{k-p} + 2k + n_0, & k \geq 5 \end{aligned} \quad (10)$$

В качестве примера на рис. 5.7 приведена схема композиционного плана для числа факторов $k=3$. Точки 1...8 соответствуют линейному плану типа ПФЭ 2^3 . Дополнением к нему являются шесть «звездных» точек 9...14 с координатами $(\pm a, 0, 0)$, $(0, \pm a, 0)$, $(0, 0, \pm a)$ и n_0 опытов в центре плана с нулевыми координатами $(0, 0, 0)$.

Величина звездного плеча a и количество опытов в центре плана n_0 зависят от вида выбранного плана (ортогональный, рототабельный). Для ортогонального плана принимается $n_0 = 1$.

Плечо «звездных» точек a выбирается таким образом, чтобы план второго порядка отвечал требованиям *ортогональности*, т.е. чтобы сумма плечевых произведений любых двух столбцов матрицы планирования была равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} x_{ui} = 0, \quad (11)$$

Пример композиционного плана для двух факторов $k = 2$ при $n_0 = 1$ и общем числе опытов $N = 2^k + 2k + 1 = 9$ показан в таблице 5.4.

Т а б л и ц а 5.4 Матрица планирования

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1X_1	X_2X_2
1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1
5	+1	+a	0	0	aa	0
6	+1	-a	0	0	aa	0
7	+1	0	+a	0	0	aa
8	+1	0	-a	0	0	aa
9	+1	0	0	0	0	0

Проверка этой матрицы по уравнению (11) свидетельствует том, что она не ортогональна, так как:

$$\sum_{i=1}^N x_{0i} x_{ji}^2 \neq 0,$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^2 x_{ui}^2 \neq 0, \quad (12)$$

Чтобы сделать матрицу планирования полностью ортогональной, необходимо:

1. Выбрать величину звездного плеча a в зависимости от числа факторов по таблице 5.5 (в данном случае при $k = 2$, $a = 1, 0$).

Т а б л и ц а 5.5 Значения «звездных» плеч

Число независимых факторов k	2	3	4	5
Основа плана	2^2	2^3	2^4	2^5
Величина «звездного» плеча a	1,0	1,215	1,414	1,547

2. Преобразовать квадратичные факторы в соответствии с выражением:

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2$$

$$x_{ji}^2 = x_{ji}^2 - \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}{N} = x_{ji}^2 - \bar{x}_j^2, \quad (13)$$

С учетом исправлений в соответствии с уравнением (13) при $a = 1,0$ матрица планирования имеет вид таблицы 5.6.

Таблица 5.6. **Ортогональная матрица**

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1X_1	X_2X_2
1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1/3	+ 1/3
2	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1/3	+ 1/3
3	+ 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1/3	+ 1/3
4	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1/3	+ 1/3
5	+ 1	+ 1	0	0	+ 1/3	- 2/3
6	+ 1	- 1	0	0	+ 1/3	- 2/3
7	+ 1	0	+ 1	0	- 2/3	+ 1/3
8	+ 1	0	- 1	0	- 2/3	+ 1/3
9	+ 1	0	0	0	- 2/3	- 2/3

Исправленная матрица, приведенная в таблице 5.6, представляет собой ортогональную матрицу второго порядка для $k=2$. Ортогональность матрицы подтверждается выражениями:

$$\sum_{i=1}^N x_{0i} x_{ji}^2 = 0, \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^2 x_{ui}^2 = 0,$$

Ортогональность матрицы планирования позволяет определять все коэффициенты уравнения математической модели независимо друг от друга по формулам:

а) для свободного члена

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_{0i} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{0i}^2} \quad (15)$$

б) для линейных эффектов

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i \quad (16)$$

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2$$

в) для эффектов парных взаимодействий

$$\sum_{i=1}^N (x_j x_u) y_i \quad (17)$$

$$b_{ju} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_j x_u) y_i}{\sum_{i=1}^N (x_j x_u)^2}$$

$$\sum_{i=1}^N (x_j x_u)^2$$

г) для квадратичных эффектов

$$\sum_{i=1}^N x_{jj}^2 y_i \quad (18)$$

$$b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{jj}^2 y_i}{\sum_{i=1}^N (x_{jj}^2)^2}$$

$$\sum_{i=1}^N (x_{jj}^2)^2$$

Вычислив дисперсию воспроизводимости по формуле (7), проверяется значимость вычисленных коэффициентов с помощью критерия Стьюдента. Незначимые коэффициенты отсеиваются вместе с соответствующими переменными и записывается уравнение математической модели операции в безразмерном виде:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} (x_1^2 + \bar{x}_1^2) + b_{22} (x_2^2 - \bar{x}_2^2) \quad (19)$$

Среднее значение квадрата кодированного значения фактора для данного случая (см. табл. 4) вычисляется согласно выражению:

$$\bar{x}_j^2 = \sum \frac{x_{ji}^2}{N} = \frac{6}{9} = \frac{2}{3}.$$

Подставляя вычисленное значение среднего в уравнение (19), получается:

$$\hat{y} = b'_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2,$$

где $b'_0 = b_0 - 2/3(b_{11} + b_{22})$.

(20)

Адекватные уравнения математической модели с учетом формулы кодирования (3) необходимо перевести в натуральный масштаб измерения факторов, т.е. привести к виду:

$$\tilde{y} = b_0 + b_1\tilde{x}_1 + b_2\tilde{x}_2 + b_{12}\tilde{x}_1\tilde{x}_2 + b_{11}\tilde{x}_1^2 + b_{22}\tilde{x}_2^2. \quad (21)$$

Конечной целью математического моделирования является прогнозирование результатов проведения технологического процесса и выработка рекомендаций по выбору оптимальных режимов, обеспечивающих экстремальное значение целевой функции (максимальную эффективность техпроцесса). Экстремум функции (21) находится в той точке, где все частные производные равны нулю. Для нахождения этой точки решается система уравнений вида:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_1} &= 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_2} &= 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_k} &= 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Система уравнений (22), содержащая k неизвестных и столько же уравнений, решается обычными методами линейной алгебры.

Полученные оптимальные значения факторов $x_{1opt}, x_{2opt}, \dots, x_{kopt}$, соответствующие наилучшим условиям проведения технологического процесса, должны быть положены в основу разработки технологической карты и использованы при наладке производственного оборудования.

Характеризуя метод ортогонального планирования эксперимента (ОПЭ) 2 – го порядка, следует отметить следующие его достоинства:

- позволяет повысить адекватность модели по сравнению с линейными планами;
- обеспечивает существенное сокращение опытов по сравнению с планами ПФЭ^k при $k \geq 3$;
- отличается простотой математического аппарата по сравнению с другими планами второго порядка;
- не требует пересчета коэффициентов уравнения математической модели при исключении независимых факторов.

Недостатком метода является неодинаковая точность оценки коэффициентов (для «звездных» точек эта точность убывает пропорционально квадрату расстояния от этих точек до центра плана).

Пример применения метода ортогонального планирования для оптимизации технологического процесса отмывки печатных узлов показан в Приложении 7.

Контрольные вопросы

1. Что называется технологическим процессом, операцией, переходом, рабочим местом?
2. Какие виды технологических процессов используются в производстве электронных средств?
3. По каким показателям оценивается качество технологического процесса?
4. Какие основные этапы разработки технологических процессов?
5. Какие основные виды работ выполняются при проектировании технологических процессов?
6. В каких случаях применяется метод ортогонального планирования эксперимента?

Тема 11 Типы производства

Основное производство - производство по выпуску изделий в соответствии с программой выпуска.

Вспомогательное производство – производство, которое обслуживает основное производство (изготовление тары, инструмента, приспособлений).

Различают три типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется малым объемом (программой) выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление или ремонт которых, как правило, не предусматривается. При этом, однажды осуществленный для какого – либо изделия процесс изготовления больше не повторяется или может повториться через неопределенный промежуток времени.

Особенности единичного производства:

1. Программа выпуска – единицы изделий.
2. Номенклатура выпускаемых изделий – разнообразная (**номенклатура** – совокупность или перечень названий).
3. Оборудование - универсальное.
4. Оснастка - универсальная, легко переналаживаемая.
5. Квалификация специалистов высокая.

Серийное производство – представляет собой производство, при котором процесс изготовления ведется партиями (сериями), регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени. В зависимости от количества изделий в партии различают:

- мелкосерийное;
- среднесерийное;
- крупносерийное производства.

Особенности серийного производства:

1. Программа выпуска – партии (серии) изделий.
2. Номенклатура выпускаемых изделий – разнообразная.
3. Оборудование - **специализированное**, а в ряде случаев **специальное**.

Специализированное оборудование – для выполнения типовых процессов для определенных изделий.

Специальное оборудование – для выполнения одного процесса.

4. Оснастка - специализированная, а в ряде случаев специальная.
5. Квалификация специалистов - разной квалификации.

Массовое производство – характеризуется большим объемом выпуска изделий в течение значительного промежутка времени.

Особенности массового производства:

1. Программа выпуска – большое количество изделий одного наименования.
2. Номенклатура выпускаемых изделий – ограниченная.
3. Оборудование - **специальное**. Закрепление за рабочим местом одной операции, т.е. узкая специализация рабочих мест. Возможность комплексной автоматизации.
4. Оснастка - специальная.
5. Квалификация специалистов - узкая.

Тип производства определяется коэффициентом закрепления операций K_{30}

$K_{30} = O / P$, где: O – число различных операций, выполненных за один месяц; P – число рабочих мест, на которых выполняются операции.

Согласно ГОСТ 14.004 – 74:

$K_{30} = 20 \dots 40$ – мелкосерийное производство.

$K_{30} = 10 \dots 20$ – серийное производство.

$K_{30} \geq 1 \dots 10$ – крупносерийное производство.

$K_{30} = 1$ – массовое производство.

Для единичного производства K_{30} не регламентируется.

Вопросы экзаменационных билетов по дисциплине «Технологическая подготовка производства»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1
по курсу «Технологическая подготовка производства»

- 1.**
10 баллов
- 2.**
10 баллов
- 3. Технологическая задача**
10 баллов

Билет рассмотрен и утвержден
на заседании кафедры ИУ4
20 ____ г. Протокол № ____

« ____ »

БИЛЕТ №1

1. Что такое электронное средство? Этапы сквозного проектирования.
2. Методы обеспечения заданной точности изделий.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №2

- 1. Маршрутная карта, Операционная карта, Карта эскизов.**
- 2. Качество изделий.**
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №3

1. Технология, технологический процесс (ТП).
2. Содержание операционной карты.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №4

1. Типовые технологические процессы (ТТП).
2. Задачи, которые решает Отдел главного механика (ОГМ).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №5

1. Штучное время (основное, вспомогательное, время технического обслуживания рабочего места, Время необходимых перерывов).
2. Задачи, выполняемые отдел надежности (ОН).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №6

1. Источники для разработки технологического процесса.
2. Задачи, которые решает Отдел материально технического снабжения (ОМТС).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №7

1. Закрепление операций за рабочими местами.
2. Качество продукции. Анализ технологического брака.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №8

1. Установ. Позиция. Вспомогательный ход (инструмента). Рабочий ход (инструмента).
- 2. Виды входного контроля покупных комплектующих изделий**
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №9

1. Задачи ОГТ в технологической подготовке производства.
2. Припуск. Допуск.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №10

1. Квалитеты.
- 2. Виды контроля оборудования**
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №11

- 1. Документы, входящие в состав технологического процесса.**
2. Задачи, которые решает Отдел технической документации (ОТД).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №12

- 1. Виды контроля качества в производстве.**
2. Партия, серия изделий.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №13

1. Контроль соблюдения технологической дисциплины.
2. Задачи, которые решает Отдел главного энергетика (ОГЭ).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №14

1. Состав технологического процесса. Операция. Переход.
2. Задачи, которые решает Отдел комплектации (ОК).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №15

- 1. Задачи, которые решает инженер-технолог.**
2. Необходимое и достаточное условия получения заданной точности.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №16

1. Основные задачи ОГТ в технологической подготовке производства.
2. Виды операционного контроля качества
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №17

1. Производственный процесс.
2. Задачи, выполняемые лабораторией внешней приемки (ЛВП). Изолятор брака.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №18

1. Виды технологических процессов.
2. Задачи, которые решает Отдел технического контроля (ОТК).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №19

1. Какие задачи решают на стадии НИР, ОКР. Техническая документация.
2. Рабочее место.
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №20

1. Типы производства (номенклатура выпускаемой продукции, оборудование, оснастка, квалификация операторов).
2. Задачи, выполняемые конструкторско-технологическим отделом стандартов (КТОС)
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №21

1. Что такое изделие? Виды изделий. Определения.
2. Основные задачи, решаемые управлением коммунального строительства (УКС).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №22

1. Источники информации для разработки ТП.
2. Задачи, решаемые центральной измерительной лабораторией (ЦИЛ)
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №23

1. Производственные погрешности. Постоянные, закономерно изменяющихся, случайные. Причины погрешностей.
2. Задачи, решаемые Отделом механизации и автоматизации (ОМиА).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №24

1. **Виды контроля качества изделий?**
2. Задачи, решаемые отделами маркетинга (ОМ) и сбыта (ОС).
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №25

1. Стандарты. Регламенты, ГОСТы, ОСТы.
2. **Какую информацию содержит маршрутная карта?**
3. Технологическая задача.

БИЛЕТ №26

1. Технические условия (ТУ), специальные требования предприятия (СТП).
2. Контроль качества сборочных единиц.
3. Технологическая задача.

Список литературы

1. Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов/ Под общ. ред. В.А.Шахнова.- М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002.- 257 с.: ил.- (сер. Информатика в техническом университете)
2. Федоров И.Б., Норенков И.П., Смирнов Ю.М. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры.- М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002
3. ГОСТ 3.1109-82.ЕСТД. Термины и определения основных понятий
- 4.ГОСТ 11.14.3302 – 87 Изделия электронной техники. Общие технические требования электронной гигиены к чистым помещениям.
5. ГОСТ 2.001 -70- 2.034 – 83. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные положения.
6. ГОСТ 3.1001 – 81. Единая система технологической документации. Общие положения. Состав и правила выполнения ТП.
7. ГОСТ 14. 001 – 73. Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП). Общие положения.
8. ГОСТ 3.2209-82. Средства технического оснащения – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса
9. ГОСТ Р50995.3.1- 96. Технологическая подготовка производства
- 10.Технология ЭВА, оборудование и автоматизация. Учебное пособие для ВУЗов. Алексеев В.Г., Гриднев В.Н. и др. – М., Высшая школа., 1984,- 392 стр., ил.
- 11.Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы., М., Техносфера, 2005, - 304 с.
- 12.Леухин В.Н. Основы конструирования и технологии производства РЭС: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2006, - 344 с.