Федеральное агентство связи

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»

(СибГУТИ)

В.Я. Вайспапир

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие

Новосибирск
2020

УДК 621.396.69.6.002.72 (075.8)

Утверждено редакционно-издательским советом СибГУТИ

Рецензенты канд. техн. наук, с.н.с. Г.Н. Кучин,
канд. техн. наук, доцент А.В. Борисов

В.Я. Вайспапир Технология производства электронных средств: учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; каф. технической электроники. – Новосибирск, 2020. – 121 с.

Рассмотрены основы технологии производства электронных средств. Пособие иллюстрировано примерами выполнения некоторых технологических процессов. Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», 11.03.03 «Конструирование и технология производства электронных средств», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», а также может быть полезно студентам других направлений.

© Вайспапир В.Я., 2020

© Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, 2020

Содержание

1 Введение 5
2 Единая система технологической подготовки производства ..……6
3 Термины и определения основных понятий в области технологии ..……8
3.1 Производственный процесс ……8
3.2 Общие понятия технологии производства ……8
3.3 Организация производства ……9
3.4 Характеристики технологических процессов ……..10
3.5 Технологические нормы ……12
3.6 Средства выполнения технологических процессов …….....12
3.7 Предметы труда ……13
4 Технологическая документация ……15
4.1 Общие сведения ……15
4.2 Виды технологических документов ……16
4.3 Система обозначения технологической документации ……23
4.4 Маршрутная карта …… 31
5 Технология влагозащиты электронных средств ……41
5.1 Влияние влаги на электронные средства ……41
5.2 Способы влагозащиты электронных средств ……....42
5.3 Монолитные тонкостенные конструкции ……44
5.4 Монолитные толстостенные конструкции ……..45
5.5 Полые конструкции ……50
5.6 Оценка степени герметичности электронных средств ……...58
6 Технология производства печатных плат ……...65
6.1 Общие сведения ……....65
6.2 Субтрактивный процесс изготовления печатных плат ……68
6.3 Полуаддитивный процесс изготовления печатных плат ……74
6.4 Аддитивный процесс изготовления печатных плат ……..75
6.5 Комбинированный процесс изготовления печатных плат ……...77
6.6 Технология изготовления многослойных печатных плат ……78
7 Технология изготовления деталей из пластмасс ……...82
7.1 Общие сведения ……82
7.2 Компрессионное прессование ……..84
7.3 Литьевое прессование ……85
7.4 Литье под давлением ……88
8.5 Прессование деталей из листовых заготовок ……..88
7.6 Требования технологичности к деталям из пластмасс ……...89
8 Технология электрических соединений ……91
8.1 Общие сведения ……91
8.2 Пайка ……...91
8.3 Сварка ……98
8.4 Соединения, основанные на пластической деформации ……99
8.5 Соединения токопроводящими клеями ……100

9 Технология моточных изделий ……..101
9.1 Общие сведения ……101
9.2 Пластинчатые магнитопроводы ……...103
9.3 Ленточные магнитопроводы ……..104
10 Технология сборки электронных средств ……..107
10.1 Общие сведения ……107
10.2 Технологическая схема сборки ……107
10.3 Технологический процесс сборки ……110
Перечень рекомендуемой литературы и нормативной документации …….113
Приложение А (обязательное) Формы маршрутных карт ……..114

1 Введение

В процессе разработки и изготовления электронных средств (далее по тексту – ЭС) участвуют специалисты различных направлений: системотехники и схемотехники, специалисты в области теплотехники, гидравлики, кинематики и пневматики, испытатели и специалисты в области надежности, метрологи и др.

Среди всех перечисленных направлений, в каждой из перечисленных специализаций, основную роль играют конструкторы и технологи. Именно их согласованные действия оказывают важнейшее значение на конечный продукт того или иного предприятия, т.е. на выпускаемые ими изделия.

Разработка семы и далее конструкции изделия не может идти без учета технологических возможностей предприятия. Конструктор уже на этапе проектирования должен четко представлять возможности предприятия-изготовителя разрабатываемого изделия, а также знать каким технологическим оснащением располагает данное предприятие. В том случае если для достижения требуемых техническим заданием показателей необходимо новое технологическое оснащение и оригинальные технологические процессы, конструктор вместе с технологом должны предусмотреть это заранее.

Подтверждением сказанного является факт обязательного технологического контроля и согласования проектируемой конструкторской документации с технологической службой предприятия.

Основной целью дисциплины «Технология производства электронных средств» является знакомство студентов, обучающихся по направлениям «Техносферная безопасность», «Конструирование и технология электронных средств» и «Электроника и наноэлектроника» со спецификой работы и основными задачами технологов, а также с особенностями некоторых технологических процессов при производстве ЭС.

Для наглядности и удобства пользования учебным пособием наименования терминов выделены курсивом, примеры выполнения текстовых элементов оформлены в виде рисунков.

2 Единая система технологической подготовки производства

Освоение выпуска современных конкурентоспособных образцов изделий, улучшение технико-экономических показателей предприятий, производящих эти изделия непосредственно связаны с *технологической подготовкой производства* (далее по тексту – ТПП).

Под ТПП понимают совокупность мероприятий, обеспечивающих *технологическую готовность предприятия*, т.е. наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации, средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

ТПП осуществляется в соответствии с *Единой система технологической подготовки производства* (далее по тексту – ЕСТПП) – системой организации и управления технологической подготовкой производства, регламентированной государственными (национальными) стандартами.

ЕСТПП устанавливает единый для всех предприятий системный подход к выбору и применению методов и средств ТПП.

Однако в стандартах ЕСТПП невозможно и нецелесообразно отражать все особенности производства многообразных видов продукции и разнообразных, зачастую специфических видов ТПП.

С целью расширения возможностей ЕСТПП в каждой отрасли разработаны *Отраслевые системы технологической подготовки производства* (далее по тексту – ОСТПП).

ОСТПП – стандарт, утвержденный государственным органом по управлению отраслью (министерством или ведомством), разработанный в соответствии с ЕСТПП применительно к продукции, работам и услугам сугубо отраслевого значения или с целью уточнения отдельных положений ЕСТПП. Отраслевые стандарты наряду с предприятиями, производящими конкретную продукцию, должны применять также предприятия, использующие эту продукцию или документацию данной отрасли.

Дальнейшее уточнение положений ЕСТПП и ОСТПП нашло отражение в *Системе технологической подготовки производства предприятия* (далее по тексту – СТПППр).

СТПППр – стандарт, утвержденный руководителем предприятия для применения на данном предприятии. СТПППр не должен противоречить ЕСТПП и ОСТПП.

Если договором на производство и поставку изделий предусмотрено использование стандарта предприятия, то он становится обязательным для всех предприятий, участвующих в производстве, поставке и применении данных изделий.

Примеры государственных (национальных), отраслевых стандартов и стандартов предприятий приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Примеры стандартов

Статус стандарта	Пример стандарта
Государственный (национальный)	ГОСТ 3.1001 – 2011 Единая система технологической документации. Общие положения
	ГОСТ Р 53429 – 2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции
	ГОСТ Р 56828.14-2016 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника
	ГОСТ Р 15.301-2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство
	ГОСТ Р МЭК 62421 – 2016 Технология электронного монтажа. Электронные модули
Отраслевой	ОСТ 107.15.2011-91 Отраслевая система обеспечения технологичности изделий. Номенклатура и нормативные значения показателей технологичности радиоэлектронных средств общей техники и их составных частей.
	ОСТ5.9092-91 Отраслевой стандарт. Корпуса стальных судов. Основные положения по технологии изготовления
	ОСТ 17-330-2002 Нитки полиамидные (капроновые) специальные. Технические условия
	ОСТ 64-02-003-2002 Министерство промышленности, науки и технологий Российской Федерации Департамент промышленной и инновационной политики в медицинской и биотехнологической промышленности. Стандарт отрасли. Продукция медицинской промышленности. Технологические регламенты производства. Содержание, порядок разработки, согласования и утверждения.
Предприятия	СТО 34.01-34.1-2016 Порядок применения электрозащитных средств в электросетевом комплексе ПАО «Россети».Требования к эксплуатации и испытаниям. ПАО «Россети», 2016
	СТО 59012820.29.020.005 – 2011 Правила переключения в электроустановках. ОАО «Системный администратор единой энергетической системы», 2011
	СТО 36554501-002-2013 Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы расчета и проектирования. ФГУП «НИЦ «Строительство», 2013

3 Термины и определения основных понятий в области технологии

3.1 Производственный процесс

Рассмотрение терминологии и основных понятий в области технологии целесообразно начать с определения понятия производственного процесса.

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

В состав производственного процесса входят все действия по изготовлению, сборке, контролю качества, хранению и перемещению деталей и сборочных единиц на всех стадиях изготовления, организация снабжения и обслуживания рабочих мест, участков и цехов, управление всеми звеньями производства, а также комплекс мероприятий по ТПП.

3.2 Общие понятия технологии производства

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и/или определению состояния предмета труда.

П р и м е ч а н и е – Технологический процесс может быть отнесен к изделию или к методам изготовления.

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования. На основе операций производится оценка трудоемкости изготовления изделия, устанавливаются нормы времени и расценки, определяется требуемое число персонала, оснащения, себестоимость продукции, ведется календарное планирование производства, контроль качества и сроков выполнения работ.

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

Технологический маршрут – последовательность прохождения заготовки детали или сборочной единицы по цехам и участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта.

Технологический метод – совокупность правил, определяющая последовательность и содержание действий при выполнении операции в технологическом процессе изготовления или ремонта, установленных безотносительно к наименованию, типоразмеру или исполнению изделия.

Технологическая база – поверхность, сочетание поверхностей, ось или точка, принадлежащие предмету труда и используемые для определения его положения в процессе изготовления.

Обрабатываемая поверхность – поверхность предмета труда, подлежащая воздействию в процессе обработки.

Маршрутное описание технологического процесса – сокращённо описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов

Операционное описание технологического процесса – полное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.

Маршрутно-операционное описание технологического процесса– сокращённо описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.

3.3 Организация производства

Любое производство, в том числе и производство ЭС, выполняют в соответствующей *производственной структуре* предприятия, состоящей из различных служб с определенными связями между ними.

В настоящее время существуют различные производственные структуры предприятий в зависимости от их профиля, принадлежности к ведомству и др.

В основном все службы предприятий, участвующие непосредственно в производстве изделий, имеют производственную структуру, состоящую из цехов, участков и рабочих мест.

Цехом принято называть совокупность производственных *участков*, состоящих из некоторого числа рабочих мест.

Рабочее место – элементарная единица структуры предприятия, т.е. зона, оснащенная необходимым техническим оснащением, в которой выполняет трудовую деятельность исполнитель или исполнители.

Рассмотрим типы производств по его организации.

Тип производства – классификация категории производства, выделяемая по признакам номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции.

С указанной точки зрения принято различать три типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство – производство, характеризуемое малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается.

Серийное производство – производство, характеризуемое изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями в течение продолжительного времени. Серийное производство принято подразделять на крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное.

Массовое производство – производство, характеризуемое большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выпол-

няется одна операция.

Отнесение типа производства к одному из вышеуказанных можно выполнить с помощью коэффициента закрепления операций $К_{З.О.}$, единиц, который вычисляют по формуле

$$К_{З.О.}=О/Р, \quad (3.1)$$

где О – общее число технологических операций, необходимых для изготовления данного изделия, единиц;

Р – общее число рабочих мест, на которых выполняются все операции при изготовлении данного изделия, единиц.

Массовому и крупносерийному производству соответствует соотношение $1=К_{З.О.}\leq 10$.

Среднесерийному производству соответствует соотношение $10<К_{З.О.}\leq 20$.

Мелкосерийному производству соответствует соотношение $20<К_{З.О.}\leq 40$.

Для единичного производства $К_{З.О.}$ не нормируют, т.к. зачастую большинство операций выполняют на одном или нескольких рабочих местах.

Для того, чтобы не путать типы производств с типами технологических процессов целесообразно в этом же подразделе рассмотреть классификацию типов технологических процессов.

Единичный технологический процесс – технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс – технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками, независимо от типа производства.

Групповой технологический процесс – технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками, независимо от типа производства.

Таким образом, каждый из рассмотренных типов технологических процессов имеет право быть в каждом из типов производств.

3.4 Характеристики технологического процесса

Цикл технологической операции – интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий или заготовок, или ремонтируемых изделий.

Такт выпуска – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения.

Ритм выпуска – количество изделий или заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнений, выпускаемых в единицу времени.

Технологический режим – совокупность значений параметров технологического процесса в определенном интервале времени, например скорость и

температура нагрева и охлаждения при термообработке магнитных сердечников.

Припуск – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности, например размера, формы, шероховатости поверхности и т.п.

Подготовительно-заключительное время – интервал времени, затрачиваемый на подготовку исполнителя (исполнителей) и средств технологического оснащения к выполнению технологической операции и приведению их в первоначальное состояние после окончания рабочей смены и (или) выполнения этой операции.

Штучное время – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых (ремонтируемых) изделий или равный календарному времени сборочной операции.

Основное время – часть штучного времени, затрачиваемого на изменение и (или) последующее определение состояния предмета труда, например при пайке электрорадиоизделий на печатную плату основное время будет определяться суммой времен, затрачиваемых на непосредственную пайку изделий на печатную плату и проверки полученной платы после пайки.

Вспомогательное время – часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предмета труда.

Оперативное время – сумма основного и вспомогательного времени.

Время обслуживания рабочего места – часть штучного времени, затрачиваемая на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом.

Время на личные потребности – часть штучного времени, затрачиваемая работником на личные потребности и дополнительный отдых при выполнении утомительных работ.

Коэффициент штучного времени – отношение затрат на непосредственное выполнение рабочим (рабочими)-многостаночниками технологической операции на рассматриваемом рабочем месте к сумме всех тех же затрат по всем технологическим операциям, выполняемым при многостаночном обслуживании.

Графически представление состава штучного времени показано в соответствии с рисунком 3.1

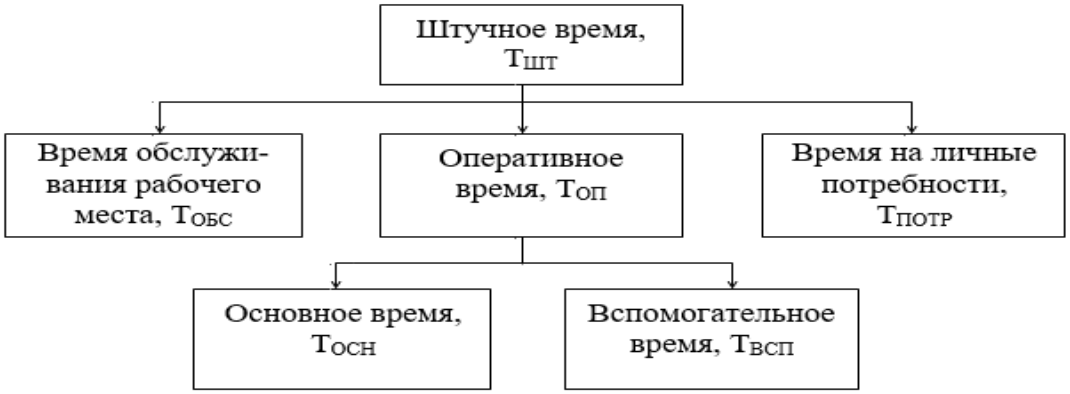


Рисунок 3.1 – Структура штучного времени

3.5 Технологические нормы

Технологическая норма – регламентированное значение технологического процесса.

Технологическое нормирование – установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов, например энергии, сырья, материалов, рабочего времени и т.п.

Норма времени – регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях исполнителем (исполнителями) соответствующей квалификации.

Норма подготовительно-заключительного времени – норма времени на подготовку исполнителя (исполнителей) и средств технологического оснащения к выполнению технологической операции и приведению их в первоначальное состояние после окончания рабочей смены и (или) выполнения этой операции.

Норма штучного времени – норма времени на выполнение объема работы, равное единицы нормирования, при выполнении технологической операции.

Норма оперативного времени – норма времени на выполнение технологической операции, являющейся составной частью нормы штучного времени и состоящая из суммы норм основного и неперекрываемого им вспомогательного времени.

Норма основного времени – норма времени на достижение непосредственной цели данной технологической операции по изменению предмета труда.

Норма вспомогательного времени – норма времени по осуществлению действий, создающих возможность выполнения основной работы, являющейся целью технологической операции.

Единица нормирования – количество производственных объектов или число исполнителей, на которое установлена техническая норма.

Норма выработки – регламентированный объем работы, которая должна быть выполнена в единицу времени в определенных организационно-технических условиях исполнителем (исполнителями) соответствующей ква-

лификации.

Расценка – размер вознаграждения исполнителю за единицу объема выполненной работы.

Тарифная сетка – шкала, определяющая соотношение между оплатой труда за единицу времени и квалификацией труда, с учетом вида работ и условий ее выполнения.

Разряд работы – показатель, характеризующий квалификацию труда.

3.6 Средства выполнения технологического процесса

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

Технологическое оборудование – средства технологического оснащения, в которых для выполнения технологического процесса или его определенной части размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическую оснастку.

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

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 или определения (средства измерения) его состояния.

3.7 Предметы труда

Материал – исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия.

Основной материал – материал исходной заготовки, а также материал, масса которого входит в массу изделия при выполнении технологического процесса, например припой при выполнении технологической операции электромонтажа.

Вспомогательный материал – материал, расходуемый при выполнении технологического процесса дополнительно к основному, например флюс или канифоль при выполнении технологической операции электромонтажа.

Полуфабрикат – предмет труда, подлежащий дальнейшей обработке на предприятии-потребителе.

Заготовка – предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливается деталь.

Исходная заготовка – заготовка перед первой технологической операцией, если в дальнейших операциях она также является заготовкой вплоть до получения из нее детали.

Изделие–любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии по конструкторской документации. К изделиям также относят завершенные и незавершенные предметы производства, в том числе заготовки.

Комплектующее изделие – изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выполняемого предприятием-изготовителем.

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

Вопросы для самоконтроля к разделу 3

1 Что включает в себя производственный процесс.

2 Что такое технологический процесс.

3 Охарактеризуйте технологическую операцию.

4 Что является самой маленькой единицей структуры производства.

5 Определите тип производства коммутатора сигналов, если для его изготовления требуется 450 операций, выполняемых на 15 рабочих местах.

6 Чем отличается подготовительно-заключительное время от времени обслуживания рабочего места.

7 В чем разница между понятиями «разряд работы» и «разряд рабочего».

8 При пайке используют следующие материалы: припой, флюс, спирт технический для очистки мест пайки, лак для защиты мест пайки. Какие из этих материалов относятся к основным, а какие к вспомогательным.

9 Назовите состав оперативного времени.

10 Приведите примеры полуфабриката и комплектующего изделия из окружающей вас обстановки.

4 Технологическая документация

4.1 Общие сведения

Технологическим документом называют графический или текстовый документ, который отдельно или в совокупности с другими технологическими документами определяет технологический процесс или операцию изготовления или ремонта изделия.

В общем случае под термином технологический документ следует понимать документ для описания технологических процессов (операций), связанных с изготовлением (ремонтом) изделия (составных частей изделия), обслуживанием и подготовкой рабочих мест, средств технологического оснащения, регенерацией изделия (составных частей изделия), включая регенерацию материалов и комплектующих изделий, сбором и утилизацией отходов производства и т.д.

По виду передаваемой информации технологические документы подразделяют на графические и текстовые технологические документы.

Графическим технологическим документом называют документ, содержащий в основном графическое изображение изделия и (или) его составных частей, взаимное расположение и функционирование этих частей, их внутренние и внешние связи. К графическим технологическим документам относят карту эскизов, чертежи, схемы, электронные модели изделия и его составных частей.

Текстовым технологическим документом называют документ, содержащий в основном сплошной текст или текст, разбитый на графы.

По виду выполнения технологические документы подразделяют на технологические документы в бумажной форме и электронные технологические документы.

Технологическим документом в бумажной форме называют документ, выполненный на бумажном или аналогичном по назначению носителе (кальке, микрофильмах, микрофишах и т.п.).

Электронным технологическим документом называют документ, выполненный как структурированный набор данных, создаваемых программно-техническим средством и имеющий содержательную и реквизитную части, в том числе установленные электронные цифровые подписи. Требования к электронным документам приведены в ГОСТ 2.051-2013 и ГОСТ 2.052-2015.

Под оформлением технологического документа следует понимать комплекс процедур (разработка, подписание, согласование и т.д.), необходимых для подготовки и утверждения технологического документа в соответствии с порядком, установленным в отрасли или в организации.

В технологических документах допускается указывать ссылки на другие технологические документы, стандарты и технические условия на материалы (вещества) и комплектующие изделия. Допускается также указывать ссылки на стандарты организации при условии, что они однозначно определяют соответствующие требования к технологии.

Технологические документы разрабатывают на формах технологических

документов, которые должны соответствовать стандартам ЕСТД или отраслевым стандартам и стандартам предприятий, разработанных в развитие и на основании стандартов ЕСТД.

Формы технологических документов являются основными документами для изготовления соответствующих бланков документов, которые выполняют на форматах по ГОСТ 2.301-68. При автоматизированном проектировании технологических документов допускается некоторое отклонение по размерам форматов.

Бланки технологических документов следует изготавливать любым способом размножения. При типографском способе выполнения бланка технологического документа допускается обозначение формы (обозначение стандарта и номер формы) указывать в верхнем правом углу над рамкой формы.

4.2 Виды технологических документов

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные.

К основным технологическим документам относят документы:

- содержащие сводную информацию, необходимую для решения одной или комплексов инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач;

- полностью и однозначно определяющие технологический процесс (операцию) изготовления или ремонта изделия (составной части изделия).

К вспомогательным технологическим документам относят документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании технологических процессов и операций. Данные документы непосредственного применения в технологическом процессе изготовления (ремонта) не имеют.

В соответствие с ГОСТ 3.1102-2011 виды основных технологических документов общего назначения приведены в таблице 4.1, виды основных технологических документов специального назначения – в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Основные технологические документы общего назначения

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Титульный лист	ТЛ	Документ предназначен для оформления: - комплекта (комплектов) технологической документации на изготовление или ремонт изделия; - комплекта (комплектов) технологических документов на технологические процессы изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия); - отдельных видов технологических документов. ТЛ является первым листом комплекта (комплектов) технологических документов

Продолжение таблицы 4.1

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Карта эскизов	КЭ	Графический документ, содержащий эскизы, схемы, таблицы и предназначенный для пояснения выполнения технологического процесса, операции или перехода изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия), включая контроль и перемещения
Технологическая инструкция	ТИ	Документ предназначен для описания технологических процессов, методов и приёмов, повторяющихся при изготовлении или ремонте изделий (составных частей изделий), правил эксплуатации средств технологического оснащения ТИ применяют в целях сокращения объема разрабатываемой технологической документации

Таблица 4.2 – Основные технологические документы специального назначения

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Маршрутная карта	МК	Документ предназначен для маршрутного или маршрутно-операционного описания технологического процесса или указания полного состава технологических операций при операционном описании изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия), включая контроль и перемещения по всем операциям различных технологических методов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, технологической оснастке, материальных нормативов и трудовых затратах П р и м е ч а н и я 1 МК является обязательным документом. 2 Допускается МК разрабатывать на отдельные виды работ. 3 Допускается МК применять совместно с соответствующей картой технологической информации взамен карты технологического процесса с операционным описанием в МК всех операций и полным указанием необходимых технологических режимов в графе «Наименование и содержание операции» 4 Допускается взамен МК использовать соответствующую карту технологического процесса.

Продолжение таблицы 4.2

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Карта технологического процесса	КТП	Документ предназначен для операционного описания технологического процесса изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия) в технологической последовательности по всем операциям одного вида формообразования, обработки, сборки или ремонта с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах
Карта типового (группового) технологического процесса	КТТП	Документ предназначен для описания типового (группового) технологического процесса изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий) в технологической последовательности по всем операциям одного вида формообразования, обработки. сборки или ремонта с указанием переходов и общих данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах Применяют совместно с ВТП.
Операционная карта	ОК	Документ предназначен для описания технологической операции с указанием последовательного выполнения переходов, данных о средствах технологического оснащения, режимах и трудовых затратах Применяют при разработке единичных технологических процессов
Карта типовой (групповой) операции	КТО	Документ предназначен для описания типовой (групповой) технологической операции с указанием последовательности выполнения переходов и общих данных о средствах технологического оснащения и режимах Применяют совместно с ВТО
Карта технологической информации	КТИ	Документ предназначен для указания дополнительной информации, необходимой для выполнения отдельных операций (технологических процессов)

Продолжение таблицы 4.2

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Комплектовочная карта	КК	Документ предназначен для указания данных о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия Применяют при разработке технологических процессов сборки. Допускается применять КК для указания данных о вспомогательных материалах в других технологических процессах
Технико-нормировочная карта	ТНК	Документ предназначен для разработки расчетных данных к технологической операции по нормам времени (выработки), описания выполняемых приемов Применяют при решении задач нормирования трудозатрат
Карта кодирования информации	ККИ	Документ предназначен для кодирования информации, используемой при разработке управляющей программы к станкам с программным управлением
Карта наладки	КН	Документ предназначен для указания дополнительной информации к технологическим процессам (операциям) по наладке средств технологического оснащения Применяют при многопозиционной обработке для станков с программным управлением, при групповых методах обработки и т. д.
Ведомость технологических маршрутов	ВТМ	Документ предназначен для указания технологического маршрута изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия) по подразделениям предприятия. Применяют для решения технологических и производственных задач
Ведомость оснастки	ВО	Документ предназначен для указания применяемой технологической оснастки при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия)
Ведомость оборудования	ВОБ	Документ предназначен для указания применяемого оборудования, необходимого для изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия)

Продолжение таблицы 4.2

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Ведомость материалов	ВМ	Документ предназначен для указания данных о подетальных нормах расхода материалов, о заготовках, технологическом маршруте прохождения изготовляемого или ремонтируемого изделия (составных частей изделия) Применяют для решения задач по нормированию материалов
Ведомость специфицированных норм расхода материалов	ВСН	Документ предназначен для указания данных о нормах расхода материалов для изготовления или ремонта изделия Применяют для решения задач по нормированию расхода материалов на изделие
Ведомость удельных норм расхода материалов	ВУН	Документ предназначен для указания данных об удельных нормах расхода материалов, используемых при выполнении технологических процессов и операций изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия) Применяют для решения задач по нормированию расхода материалов
Технологическая ведомость	ТВ	Документ предназначен для комплексного указания технологической и организационной информации, используемой перед разработкой комплекта (комплектов) документов на технологические процессы (операции) Применяют на одном из первых этапов технологической подготовки производства
Ведомость применяемости	ВП	Документ предназначен для указания применяемости полного состава деталей, сборочных единиц, средств технологического оснащения и др. Применяют для решения задач ТПП
Ведомость сборки изделия	ВСИ	Документ предназначен для указания состава деталей и сборочных единиц, необходимых для сборки изделия в порядке ступени входимости, их применяемости и количественного состава

Продолжение таблицы 4.2

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Ведомость операций	ВОП	Документ предназначен для операционного описания технологических операций одного вида формообразования, обработки, сборки и ремонта изделия в технологической последовательности с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения и норм времени Применяют совместно с МК или КТП
Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу	ВТП (ВТО)	Документ предназначен для указания состава деталей (сборочных единиц, изделий), изготавливаемых или ремонтируемых по типовому (групповому) технологическому процессу (операции), и переменных данных о материале, средствах технологического оснащения, режимах обработки и трудозатратах
Ведомость деталей, изготавливаемых из отходов	ВДО	Документ предназначен для указания данных о деталях, изготавливаемых из отходов при раскрое металла
Ведомость дефектафектации	ВД	Документ предназначен для указания изделий (составных частей изделий), подлежащих ремонту, с определением вида ремонта, дефектов и для указания дополнительной технологической информации Применяют при ремонте изделий (составных частей изделий)
Ведомость стержней	ВСТ	Документ предназначен для указания информации, необходимой при изготовлении стержней из отливок

Продолжение таблицы 4.2

Вид документа	Код вида документа	Назначение документа
Ведомость технологических документов	ВТД	Документ предназначен для указания полного состава документов, необходимых для изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий) Применяют при передаче комплекта документов с одного предприятия на другое
Ведомость держателей подлинников	ВДП	Документ предназначен для указания полного состава документов, необходимых при передаче комплекта документов на микрофильмирование

В зависимости от специфики изготавливаемого (ремонтируемого) изделия и специфики конкретной отрасли (предприятия) допускается разрабатывать другие виды технологических документов, т. е. документы, не предусмотренные таблицей 4.2.

При разработке специфических технологических документов, вид документа и его код присваивают по правилам, установленным в отрасли (на предприятии).

При необходимости к коду вида документа допускается через дробь добавлять признаки, раскрывающие специальное назначение документа, в виде заглавных букв русского алфавита.

Пример добавления признака, раскрывающего специальное назначение ведомости применяемости (ВП) в соответствии с рисунком 4.1.

ВП/О – ведомость применяемости технологической оснастки
ВП/СД – ведомость применяемости стандартных деталей (сборочных единиц)
ВП/ОД – ведомость применяемости оригинальных деталей (сборочных единиц)

Рисунок 4.1 – Пример добавления признака к коду документа

С целью удобства использования, хранения и учета технологических документов при изготовлении изделий и при передаче на другое предприятие, допускается технологические документы, имеющие общее функциональное и техническое назначение, объединять в комплекты, приведенные в таблице 4.3.

Данным комплектам код вида документа не присваивают.

Таблица 4.3 – Комплекты технологических документов

Вид комплекта	Назначение комплекта
Комплект документов технологического процесса (операции)	Совокупность технологических документов, необходимых и достаточных для выполнения технологического процесса (операции)
Комплект технологической документации	Совокупность комплектов документов технологических процессов и отдельных документов, необходимых и достаточных для выполнения технологических процессов при изготовлении и ремонте изделия или его составных частей
Комплект проектной технологической документации	Комплект технологической документации, предназначенной для применения при проектировании или реконструкции предприятия (организации)
Стандартный комплект документации технологического процесса (операции)	Комплект технологических документов, установленных в соответствии с требованиями стандартов государственной системы стандартизации
Комплект временных документов технологического процесса (операции)	Совокупность технологических документов, предназначенных для применения на рабочих местах взамен действующего комплекта документов и рассчитанных на ограниченный период времени из-за отсутствия надлежащих средств технологического оснащения или исходных заготовок
Комплект директивной технологической документации	Совокупность комплектов документов на отдельные технологические процессы, необходимые и достаточные для приведения предварительных укрупненных инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач, при принятии решения по постановке новых изделий на производство применительно к условиям конкретного предприятия (организации)
Комплект документов технологического процесса (операции) информационного назначения	Совокупность документов, содержащих описание типовых и групповых технологических процессов по конкретному методу изготовления или ремонта изделий и составных частей, без привязки к конкретным условиям производства и используемых разработчиками документов для разработки комплектов документов, применяемых на рабочих местах

4.3 Система обозначения технологической документации

По аналогии с ЕСКД в ЕСТД установлена собственная система обозначе-

ния технологической документации, предназначенная для обозначения технологических документов, имеющих самостоятельное применение, как в основном, так и во вспомогательном производстве с целью упорядочения учета, обращения и использования информационно-поисковых систем.

Обязательному обозначению подлежат:

- комплекты документов на типовые (групповые) технологические процессы (операции);
- комплекты технологической документации, комплекты документов на единичные технологические процессы, применяемые в среднесерийном, крупносерийном и массовом типах производства;
- технологические инструкции;
- отдельные виды документов, имеющие самостоятельное применение.

Необходимость обозначения технологической документации в других случаях устанавливают соответствующим директивным указанием в отрасли или в организации.

Обозначение, присвоенное конкретному технологическому документу, не может быть использовано для обозначения другого технологического документа.

ГОСТ 3.1201-85 устанавливает единую обезличенную классификационную систему обозначения технологических документов в соответствии с рисунком 4.2.

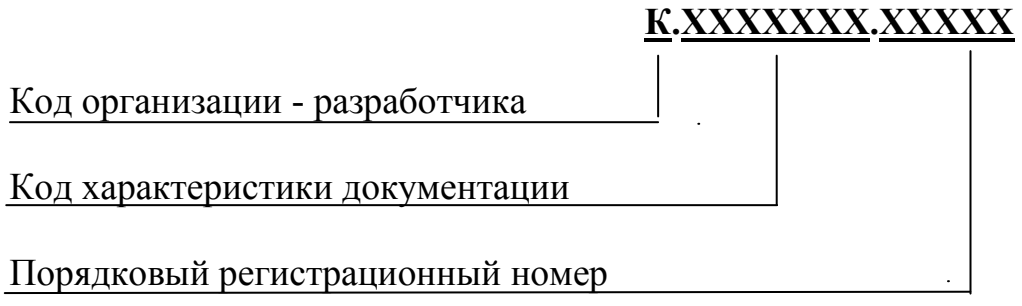


Рисунок 4.2 – Система обозначения технологических документов

Код организации – разработчика устанавливают в соответствии с директивным указанием в отрасли или на предприятии. В ряде предприятий с целью унификации конструкторской и технологической документации (на изделие, сборочную единицу или деталь) *код организации – разработчика* технологической документации устанавливают идентичным коду организации-разработчика соответствующей конструкторской документации, т.е. повторяют код организации-разработчика конструкторской документации изделия (сборочной единицы, детали), на которое разрабатывают технологическую документацию.

Код характеристики документации (арабские цифры от 0 до 9) представляет собой структуру в соответствии с рисунком 4.3, причем код вида технологического метода является необязательным.

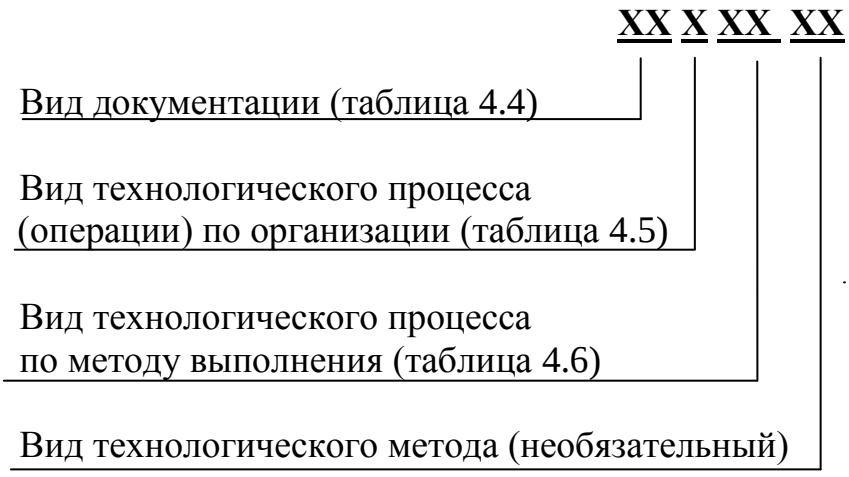


Рисунок 4.3 – Структура кода характеристики технологического документа

Порядковый регистрационный номер в системе обозначения технологической документации присваивают в пределах кода характеристики документации и кода организации-разработчика от 00001 до 99999.

Код характеристики документации в соответствии с рисунком 4.3 присваивает разработчик документации, пользуясь таблицами 4.4 – 4.6 и «1 85 151 Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения» (КТО).

Коды, пропущенные в таблицах 4.4 и 4.6, являются резервными для перспективы развития технологической науки и для обозначения специфических технологических документов и специфических технологических процессов по методу выполнения.

Таблица 4.4 – Коды видов технологической документации по ГОСТ 3.1201-85

Код	Вид документации	Код	Вид документации
01	Комплект технологической документации	47	Ведомость специфицированных норм расхода материалов (ВСН)
02	Комплект документов технологического процесса (операции)	48	Ведомость удельных норм расхода материалов (ВУН)
04	Комплект временных документов технологического процесса (операции)	50	Карта технологического процесса (КТП)
05	Комплект проектной технологической документации	55	Карта типового (группового) теологического процесса (КТТП)
06	Комплект директивной технологической документации	57	Карта типовой (групповой) операции (КТО)
07	Комплект документов технологического процесса (операции) информационного назначения	59	Карта технологической информации (КТИ)

Продолжение таблицы 4.4

Код	Вид документации	Код	Вид документации
09	Стандартный комплект документов технологического процесса (операции)	60	Операционная карта (ОК)
10	Маршрутная карта (МК)	62	Карта наладки (КН)
20	Карта эскизов (КЭ)	67	Карта кодирования информации (ККИ)
25	Технологическая инструкция (ТИ)	70	Технологическая ведомость (ТВ)
30	Комплектовочная карта (КК)	71	Ведомость применяемости (ВП)
40	Ведомость технологических документов (ВТД)	72	Ведомость операций (ВОП)
41	Ведомость технологических маршрутов (ВТМ)	75	Технико-нормировочная карта (ТНК)
42	Ведомость оснастки (ВО)	77	Ведомость деталей, изготавливаемых из отходов (ВДО)
43	Ведомость материалов (ВМ)	78	Ведомость дефектации (ВД)
44	Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (операции) (ВТП, ВТО)	79	Ведомость стержней (ВСТ)
45	Ведомость сборки изделия (ВСИ)	80	Ведомость держателей подлинников (ВДП)
46	Ведомость оборудования (ВОБ)		

П р и м е ч а н и е – Документам, не указанным в таблице и разрабатываемым для специфических технологических процессов, код вида документации обозначают по правилам, установленным в отрасли (организации)

Таблица 4.5 – Коды видов технологического процесса (операции) по организации по ГОСТ 3.1201-85

Код	Вид технологического процесса (операции) по организации
0	Без указания
1	Единичный технологический процесс (ЕТП) или операция
2	Типовой технологический процесс (ТТП) или операция
3	Групповой технологический процесс (ГТП) или операция

П р и м е ч а н и е – Код «0» следует проставлять в тех случаях, когда нет необходимости обозначать конкретный вид технологического процесса по организации, например при разработке ведомости специфицированных норм расхода материалов, ведомости оборудования и др.

Таблица 4.6– Коды видов технологического процесса по методу выполнения по ГОСТ 3.1201-85

Код	Вид технологического процесса (операции) по методу выполнения	Код	Вид технологического процесса (операции) по методу выполнения
00	Без указания	55	Фотохимико-физическая обработка
01	Общего назначения	60	Формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины
02	Технический контроль величин пространства, времени, размеров, формы и расположения поверхности (поверхностей), геометрических параметров	65	Порошковая металлургия
03	Технический контроль физических величин: механических, электрических, тепловых и др., внешнего вида и наличия клейм, прочих величин и характеристик	71	Получение покрытия (металлического и неметаллического неорганического)
04	Перемещение	73	Получение покрытий лакокрасочных (органических): преобразование ржавчины, парозаполнение, грунтование, шпатлевание, окрашивание
06	Испытания на надежность, на функциональность, на герметичность, на безопасность, механические,	74	Получение покрытий лакокрасочных (органических): лакирование, разравнивание, загрубление, напыление, насыпание, облицовка
07	Испытания климатические, химические, электрические, радиационные и т.п.	75	Электрофизическая, электрохимическая и радиационная обработка
08	Консервация и упаковывание	80	Пайка: готовым припоем, контактно-реактивная, реактивно-флюсовая
10	Литье металлов и сплавов	81	Пайка: пайкосварка, комбинированная, лужение
21	Обработка давлением	85	Электромонтаж

Продолжение таблицы 4.6

Код	Вид технологического процесса (операции) по методу выполнения	Код	Вид технологического процесса (операции) по методу выполнения
41	Обработка резанием: токарная, резьбонарезная, шлифовальная, зубообрабатывающая, комбинированная, строгальная, протяжная, отделочная	88	Сборка
42	Обработка резанием: сверлильная, расточная, программная, фрезерная, отрезная	90	Сварка: печная, контактная, диффузионная, световая, дуговая, прессовая, электронно-лучевая, взрывом, холодная, ультразвуковая и др.
50	Термообработка: отжиг, закалка, термоциклирование	91	Сварка: наплавка, термоконтактная, термическая резка
51	Термообработка: диффузионное насыщение металлами и (или) неметаллами, удаление примесей, термохимическая обработка, вжигание, осаждение пленки, ионная имплантация, наращивание, сплавление, обжиг		
Примечания 1 Код «00» следует проставлять в тех случаях, когда нет необходимости обозначать конкретный вид технологического процесса по методу выполнения, *например* в документах, где описаны два и более метода изготовления 2 Технологическим процессам, не указанным в таблице и применяемым в специфических производствах, код вида технологического процесса обозначают по правилам, установленным в отрасли (организации)			

В таблице 4.6 код вида технологического процесса по методу выполнения соответствует первой ступени классификации КТО.

Код вида технологического метода не является обязательным при формировании кода характеристики технологической документации, однако при необходимости дальнейшей детализации кода характеристики технологической документации, код вида технологического метода определяют по второй ступени классификатора КТО.

Рассмотрим пример (в соответствии с рисунком 4.4) формирования кода характеристики технологического документа, выполненного на маршрутной карте и предназначенного для технического контроля магнитного потока в электронном субблоке по единичному технологическому процессу.

- вид документа (таблица 4.4) – маршрутная карта – код 10;
- вид технологического процесса по организации (таблица 4.5) – единичный технологический процесс – код 1;
- технологический процесс по методу выполнения (таблица 4.6) – технический контроль физических величин – код 03;
- технологический метод (при необходимости) – контроль магнитного потока (классификатор КТО) – код 26.

Таким образом:

- код характеристики технологического процесса при необходимости указания кода технологического метода –1010326;
- код характеристики технологического процесса при отсутствии необходимости указания кода технологического метода –10103.

Рисунок 4.4 – Пример формирования кода характеристики технологического документа

В кодовом обозначении документации, предназначенной на ремонт изделия или его составной части, после порядкового регистрационного номера допускается проставлять прописную букву «Р».

Так для вышеописанного случая технического контроля магнитного потока (выполняемого после ремонта и сборки) в электронном субблоке по ремонтному технологическому процессу с порядковым регистрационным номером 00027, разработанному на предприятии с кодом организации-разработчика «В», обозначение технологического документа будет иметь вид в соответствии с рисунком 4.5.

В.1010326.00027Р
или
В.10103.00027Р

Рисунок 4.5 – Пример обозначения документа на ремонт

Следует обратить внимание на ряд правил присвоения обозначения технологической документации:

- обозначение, присвоенное технологическому документу, не допускается использовать для обозначения другого технологического документа;
- у заимствованной технологической документации следует сохранять присвоенное ей обозначение;
- все листы технологического документа, выполненного на нескольких листах, должны иметь одинаковое обозначение;
- при разработке отдельных видов технологических документов на формах, выполняющих функции других документов (МК/КК. МК/КТП и т. д.), им сле-

дует присваивать обозначение того документа, функции которого они выполняют, т.е. МК/КТП обозначают КТП и т.д.;

- порядковые регистрационные номера должна присваивать служба организации – держателя подлинника, ответственная за ведение учета обозначений;

- порядковые регистрационные номера аннулированных технологических документов запрещается присваивать другим технологическим документам в течение всего времени деятельности организации;

- обозначения технологических документов следует регистрировать по правилам, установленным в отрасли или в организации.

Необходимо также обратить внимание на порядок простановки кода организации-разработчика в графах основной надписи технологических документов:

- в графе 25 код организации-разработчика не проставляют;

- в графе 4 код организации-разработчика проставляют над кодом характеристики документации и порядковым регистрационным номером в соответствии с рисунком 4.6.

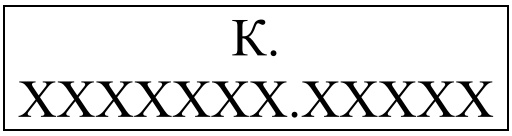


Рисунок 4.6 – Простановка кода в графе 4 основной надписи

4.4 Маршрутная карта

4.4.1 Общие сведения

Маршрутная карта (код документа МК) является основным обязательным документом описания технологического процесса изготовления или ремонта ЭС.

Формы маршрутных карт установлены государственными или отраслевыми стандартами и являются унифицированными при описании технологических процессов.

Государственным стандартом установлены 11 форм МК.

В курсе «Технология производства электронных средств» предусмотрено изучение трех форм: форма 1, форма 1б и форма 2. На этих формах студенты разрабатывают технологические процессы при выполнении лабораторных и практических работ, курсовых работ и проектов, ВКР.

Форма 1 (первый лист МК) является универсальной, т.е. предназначенной для описания любых технологических процессов.

Форма 2 (первый лист МК) предназначена для описания технологических процессов сборки, контроля или испытаний ЭС.

Форма 1б (последующие листы МК на формах 1 и 2) является универсальной и предназначена для описания любых технологических процессов.

Конкретный выбор формы МК при проектировании технологического процесса в учебном заведении приведен в методических указаниях к лабора-

торным работам, практическим занятиям и курсовому проектированию.

По аналогии с конструкторскими документами технологические документы, в том числе и МК, содержат основную надпись

Изучаемые формы МК приведены в приложении А в двух вариантах:

- с указанием номеров граф, содержание информации в которых приведено в таблицах 4.7 – 4.9. Блоки Б2, Б3 и Б4 в этих формах имеют фон для визуального отличия от блоков Б1, Б5 и Б6. Данные МК предназначены для изучения правил их проектирования;

- без указания номеров граф. Эти МК предназначены для непосредственной разработки технологических процессов при выполнении лабораторных и контрольных работ, практических занятий, курсовых работ (проектов) и ВКР.

4.4.2 Основная надпись маршрутной карты

Основная надпись формы технологического документа предназначена для соответствующего оформления технологического документа и для указания назначения и области применения всех видов технологических документов (комплекта документации, комплекта документов технологического процесса или операции).

Основная надпись технологического документа представляет собой сочетание информационных блоков, расположенных в определенном порядке:

- БЛОК 1 (Б1) – блок адресной информации;
- БЛОК 2 (Б2) – блок состава исполнителей;
- БЛОК 3 (Б3) – блок внесения изменений;
- БЛОК 4 (Б4) – блок дополнительной информации;
- БЛОК 5 (Б5) – блок вспомогательной информации;
- БЛОК 6 (Б6) – блок вида и назначения документа.

Основная надпись МК приведена в составе форм 1, 1б и 2 в приложении А.

Содержание граф основной надписи приведено в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Содержание граф основной надписи

Блок	Номер графы	Содержание графы
Б1	1	Краткое наименование или условное обозначение (код) организации – разработчика документа (документов). П р и м е ч а н и е – Для студентов СибГУТИ – следует записывать краткое наименование университета – СибГУТИ.
	2	Для единичного технологического процесса или для отдельных видов документов (ВМ, ВТМ и т.д.) – обозначение изделия (детали, сборочной единицы, комплекса, комплекта) по основному конструкторскому документу Для типового технологического процесса (операции) – код ступени классификации по конструкторскому классификатору Для группового технологического процесса (операции) – в графе ставят прочерк

Продолжение таблицы 4.7

Блок	Номер графы	Содержание графы
Б1	3	Для типовых и групповых технологических процессов – код классификационных группировок технологических признаков, общих для группы деталей (сборочных единиц), характеризующих применяемый метод изготовления или ремонта, по «Общероссийскому технологическому классификатору деталей машиностроения и приборостроения» (ОТКД) или «Технологическому классификатору сборочных единиц машиностроения и приборостроения»
	4	Обозначение документа по ГОСТ 3.1201-85. (смотри 4.3 данного пособия) Допускается указывать обозначение комплекта документов: - для МК, КТП, КТТП, когда комплект документов оформляют без ТИ; - для всех видов документов, входящих в комплект и не подлежащих обработке средствами вычислительной техники
	5	Литера, присвоенная документу (комплекту документов) в соответствии с литерой основного конструкторского документа. Графы заполняют последовательно слева направо
	6	Для единичного технологического процесса (операции) или для отдельных видов документов (ВМ, ВТМ и т.д.) – наименование изделия по основному конструкторскому документу Для типового технологического процесса (операции) – наименование группы изделий, характеризующихся общностью конструктивных признаков, например «втулки», «панели», «платы» и т.д. Для группового технологического процесса (операции) – наименование применяемого метода, например «серебрение», «шлифование», «лужение» и т.д. Допускается графу не заполнять для ТИ, ВТП (ВТО), КК и т.д.
	7	Общая единица нормирования, принятая для всего технологического процесса. Графу заполняют в соответствии с требованиями, установленными в отрасли или в организации. Чаще всего за общую единицу нормирования принимают норма/час, при этом в графе следует писать н/час
Б2	12	Характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ. Обязательными являются лицо, разработавшее документ и лицо, ответственное за нормоконтроль. Свободные строки заполняют в соответствии с требованиями, установленными в отрасли или в организации. В изучаемых формах МК графа заполнена

Продолжение таблицы 4.7

Блок	Номер графы	Содержание графы
Б2	13	Фамилии лиц, пописавших документ
	14	Подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 13. Необходимость указания других виз – в соответствии с требованиями, установленными в отрасли или в организации. Если на документе количество виз превышает количество строк графы 12, то их размещают на титульном листе или на поле подшивки первого листа документа
	15	Дата подписания документа
Б3	16	Порядковый номер изменения документа
	17	Указания об изменении листа документа
	18	Номер документа, на основании которого производится изменение данного документа. Согласно ГОСТ 2.503-2013 основанием для изменения технологического документа является «Извещение об изменении»
Б4	20	Инвентарный номер подлинника по ГОСТ 2.501-2013
	21	Инвентарный номер подлинника, взамен которого выпущен данный подлинник по ГОСТ 2.503-2013
	22	Инвентарный номер дубликата по ГОСТ 2.502-2013
Б5	23	Указание дополнительной информации (по применяемости в изделии, вариантам исполнения и т.д.). Графу заполняют в соответствии с требованиями, установленными в отрасли или организации
	24	Обозначение номера изделия (сборочной единицы), с которого вводится данный документ. Графу заполняют в соответствии с требованиями, установленными в отрасли или организации
	25	Обозначение основного документа (комплекта документов на технологический процесс или операцию, комплект документации), куда входит данный документ (комплект документов на технологический процесс или операцию).
	26	Общее количество листов данного документа
	27	Порядковый номер листа данного документа
Б6	28	Код вида документа. П р и м е ч а н и е – В изучаемых маршрутных картах код МК уже проставлен
	29	Наименование документа или краткое наименование технологического метода (процесса или операции), который описывается в данном документе. Для МК, КЭ, КК, ТИ, ВТП и т.д. допускается графу не заполнять

Продолжение таблицы 4.7

Блок	Номер графы	Содержание графы
Б6	30	Имя файла, содержащего документ в электронной форме. Графу заполняют только для документов, изготовленных в бумажной форме с помощью ЭВМ.
	31	Номер версии электронного документа, с которого на устройствах вывода ЭВМ получен документ в бумажной форме.

4.4.3 Правила оформления маршрутной карты

Для изложения технологических процессов в МК используют способ заполнения, при котором информацию (в основное поле) вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строк соответствует свой служебный символ, условно выражающий состав информации, размещаемой в графах данного типа строки.

Служебные символы, простановка которых является обязательной, предназначены для автоматизированной обработки, содержащейся в соответствующих строках информации.

В том случае, если единообразная информация при описании одной и той же операции не входит в одну строку и ее переносят на последующие строки, то служебный символ на последующих строках не проставляют, за исключением сток переносимых на другой лист МК.

В качестве служебных символов приняты прописные буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки, например М01, А11 и т. д. Соответствие служебных символов, применяемых в изучаемых формах МК, содержанию информации, располагаемой на строках, приведено в таблице 4.8.

В МК, изучаемых в данной дисциплине:

- на форме 1 в строке 01 и 02 уже проставлены служебные символы М, а в строке 03 проставлен служебный символ А, т.к. в эти строки всегда будет вносится информация, соответствующая только данным служебным символам;

- на форме 2 в строке 03 также уже проставлен служебный символ А, т.к. в эту строку всегда будет вносится информация, соответствующая только данному служебному символу.

При заполнении информации на строках со служебным символом О, необходимо руководствоваться требованиями государственных и отраслевых стандартов ЕСТД, а также стандартами предприятий, устанавливающих правила записи операций и переходов. Запись следует выполнять в технологической последовательности по всей длине строки, учитывая возможность переноса информации на следующие строки. При операционном описании технологическо-

го процесса на МК номер перехода (1, 2, и т.д.) необходимо проставлять в начале строки в соответствии с рисунком (примером) 4.7.

Таблица 4.8 – Служебные символы и содержание информации

Служебный символ	Содержание информации в графах строки
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименовании операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация по комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделений, откуда поступают комплектующие составные части, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала, обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
О	Содержание операции (перехода)
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке

Проверить блок сигнализации для чего:

1 Установить на пульте стенда А1 переключатель режимов в положение «2»

2 Включить источник питания, установив тумблер в положение СЕТЬ, должен засветиться индикатор СЕТЬ и т.д.

Рисунок 4.7 – Пример простановки переходов

При заполнении информации на строках со служебным символом Т, необходимо руководствоваться требованиями соответствующих классификаторов, государственных и отраслевых стандартов, а также стандартов организации на кодирование (обозначение) и наименование технологической оснастки. Информацию по применяемой при выполнении операции технологической оснастке записывают в следующей последовательности:

- приспособления;
- вспомогательный инструмент;
- режущий инструмент;

- слесарно-монтажный инструмент;

- специальный инструмент, применяемый при выполнении специфических технологических процессов (операций), например немагнитный инструмент, используемый для сборки и настройки магнитных систем и т.п.

- средства измерения;

- средства индивидуальной защиты.

Запись следует выполнять по всей длине строки, учитывая возможность переноса информации на следующие строки. Разделение информации по каждому средству технологической оснастки необходимо выполнять через знак «;». Количество одновременно применяемых единиц одной и той же технологической оснастки следует указывать после кода (обозначения) оснастки, заключая в круглые скобки в соответствии с рисунком 4.8.

АБВГ.XXXXXX.XXX (2) ключ гаечный

Рисунок 4.8 – Пример записи технологической оснасти

Информация, вносимая в графы основного поля МК, приведена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Информация, вносимая в графы маршрутной карты

Номер графы	Наименование (условное обозначение графы)	Служебный символ	Содержание информации
1	-	-	Обозначение служебного символа и порядкового номера строки.
2	-	М01	Наименование, сортамент, размер и марка материала, обозначение стандарта, технических условий.
3	Кол	М02	Код материала по классификатору
4	ЕВ	М02, К, М	Код единицы величины (массы, длины и т.п.) детали, заготовки, материала по классификатору. Допускается указывать единицу измерения величины
5	МД	М02	Масса детали по конструкторскому документу
6	ЕН	М02, Б, К, М	Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала, например 1, 10, 100 и т.д.
7	Н. расх.	М02, К, М	Норма расхода материала
8	КИМ	М02	Коэффициент использования материала
9	Код заготовки	М02	Код заготовки по классификатору. Допускается указывать вид заготовки, например прокат, отливка, лист и т.д.

Продолжение таблицы 4.9

Номер графы	Наименование (условное обозначение графы)	Служебный символ	Содержание информации
10	Профиль и размеры	М02	Профиль и размеры исходной заготовки, например, лист 1,0х710х1400. Профиль допускается не указывать
11	КД	М02	Количество деталей, изготавливаемых из одной заготовки
12	МЗ	М02	Масса заготовки
13	-	-	Графа для особых указаний. Порядок заполнения графы в соответствии с порядком, установленным в отрасли или в организации
14	Цех	А	Номер (код) цеха, в котором выполняется операция
15	Уч.	А	Номер (код) участка, конвейера, поточной линии и т.п.
16	РМ	А	Номер (код) рабочего места
17	Опер.	А	Номер операции в технологической последовательности изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещение). Нумерацию выполняют числами следующего ряда: 005; 010; 015 и т.д. Нумерацию операций, вводимых дополнительно или взамен аннулированных выполняют промежуточными цифрами, при этом нумерацию аннулированных операций не применяют. Например, если в МК аннулирована операция 015, а вместо нее вводят другую операцию, то ей присваивают номер 016 или 014, а номер 015 в данном техпроцессе больше не используют
18	Код, наименование операции	А	Код операции по «Классификатору технологических операций машиностроении и приборостроении» (допускается не указывать), наименование операции (в полной или краткой форме). При обработке информации средствами вычислительной техники запись кода операции – обязательна.

Продолжение таблицы 4.9

Номер графы	Наименование (условное обозначение графы)	Служебный символ	Содержание информации
19	Обозначение документа	А	Обозначение документов, инструкций по охране труда, применяемых при выполнении данной операции. Документы следует указывать через разделительный знак «;» с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки
20	Код, наименование оборудования	Б	Код оборудования по классификатору, краткое наименование оборудования (допускается вместо наименования указывать модель), его инвентарный номер (допускается не указывать). Информацию следует указывать через разделительный знак «;»
21	СМ	Б	Степень механизации (код степени механизации). Обязательность и правила заполнения в соответствии с порядком, установленным в отрасли или в организации
22	Проф.	Б	Код профессии по классификатору ОКПДТР. Допускается указывать краткое наименование профессии
23	Р	Б	Разряд работы, необходимый для выполнения операции
24	УТ	Б	Код условий труда по классификатору ОКПДТР и код вида нормы
25	КР	Б	Количество исполнителей, занятых при выполнении операции
26	КОИД	Б	Количество одновременно изготавливаемых (ремонтируемых) деталей (сборочных единиц) при выполнении операции. При выполнении операции перемещения следует указывать объем грузовой единицы – количество деталей в таре.

Продолжение таблицы 4.9

Номер графы	Наименование (условное обозначение графы)	Служебный символ	Содержание информации
27	ОП	Б	Объем производственной партии в единицах. На стадиях разработки предварительного проекта и опытного образца допускается графу не заполнять. При выполнении операции перемещения в графе следует указывать объем транспортной партии, количество грузовых единиц, перемещаемых одновременно
28	$К_{ШТ}$	Б	Коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании
29	$Т_{ПЗ}$	Б	Норма подготовительно-заключительного времени на операцию
30	$Т_{ШТ.}$	Б	Норма штучного времени на операцию
31	Наименование детали, сб. единицы или материала	К, М	Наименование деталей, сборочных единиц, материала, применяемых при выполнении операции
32	Обозначение, код	К, М	Обозначение деталей, сборочных единиц, материалов, применяемых при выполнении операции
33	ОПП	К, М	Обозначения подразделения (склада, цеха и т.п.), откуда поступают комплектующие детали, сборочные единицы или материалы; при разборке – куда поступают
34	КИ	К, М	Количество деталей, сборочных единиц, применяемых при сборке изделия; при разборке – количество получаемых в результате разборки

П р и м е ч а н и я

1 ОКПДТР – Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов.

2 При проведении лабораторных работ в СибГУТИ номер рабочего места соответствует номеру лабораторной работы, номер участка соответствует номеру помещения кафедры, номер цеха соответствует номеру (коду) кафедры.

Вопросы для самоконтроля к разделу 4

1 Сформируйте код документа: ведомость дефектации технологической оснастки.

2 Что называют текстовым технологическим документом.

3 Какие документы относятся к электронным технологическим документам.

4 Как подразделяют технологические документы в зависимости от назначения.

5 Назовите технологические документы общего назначения.

6 Чем отличается маршрутная карта от операционной карты.

7 Код единичного технологического процесса.

8 В каких случаях код видов технологического процесса по методу выполнения устанавливают «00».

9 Что вводят в кодовое обозначение документации, предназначенной для ремонта.

10 По каким правилам регистрируют технологические документы.

11 Сколько блоков содержит основная надпись технологического документа.

12 Назначение Блока 1 основной надписи.

13 Что принимают за общую единицу нормирования технологического процесса.

14 В каких случаях в основной надписи указывают имя файла, содержащего документ в электронной форме.

15 Какую информацию вносят в строку со служебным символом «А».

16 В какой последовательности записывают информацию по применяемой при выполнении операции технологической оснастке.

17 Что такое единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала.

18 Назначение графы «КИМ» маршрутной карты.

19 Что записывают в графу $Т_{ПЗ}$ маршрутной карты.

20 В какую графу маршрутной карты записывают документы по охране труда.

5 Технология влагозащиты электронных средств

5.1 Влияние влаги на электронные средства

В процессе производства, хранения и эксплуатации ЭС, его узлы и элементы могут подвергаться воздействию влаги, содержащейся в:

- окружающем пространстве;
- внутренней среде герметичных конструкций;
- материалах конструкции;
- материалах, используемых при изготовлении ЭС.

Влага имеет высокую проникающую способность, высокую химическую активность (особенно морской туман), диэлектрическую проницаемость и электропроводность (особенно при наличии ионизированных примесей). Обычно защита от влаги является защитой и от других факторов: агрессивных сред, пыли, грибков и т. д.

Максимально возможное содержание влаги в воздухе зависит от температуры и давления. Зависимость содержания влаги в воздухе при нормальном атмосферном давлении (760 мм.рт. ст. = 0.1 МПа) имеет вид в соответствии с рисунком 5.1. При снижении температуры воздуха ниже уровня, соответствующего максимально возможному содержанию влаги (точка росы), избыток влаги выпадает в виде конденсата (росы) непосредственно на поверхность ЭС.

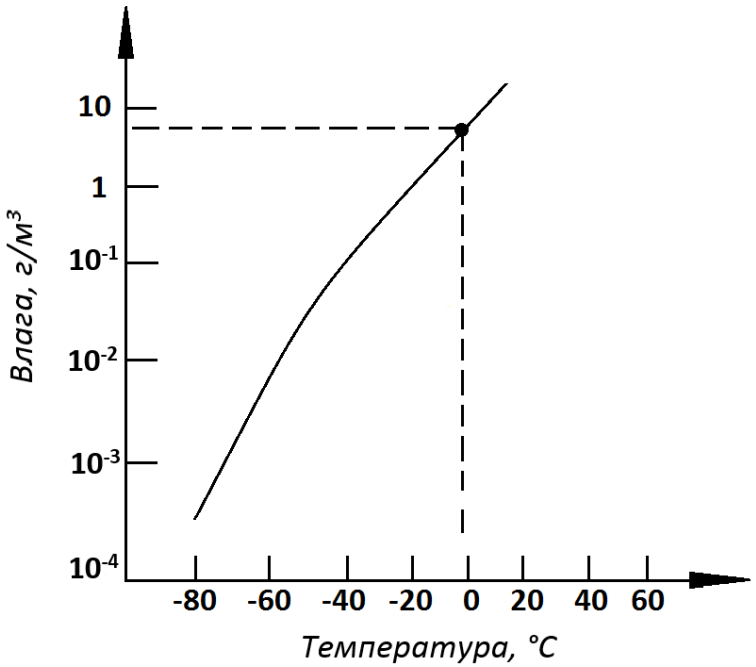


Рисунок 5.1 – Зависимость содержания влаги в воздухе от температуры

Наличие влаги во внутренней среде герметичных конструкций объясняется следующими причинами:

- проникновением ее через микропоры материала корпуса из внешней среды;

- невозможностью полной осушки (без влагопоглотителя) среды заполнения;

- наличие влаги в конструкционных материалах герметичных корпусов.

Используемые в технологическом процессе изготовления ЭС жидкие материалы также являются источником влаги и загрязнений, которые значительно усиливают действие влаги. Например, различные травители, моющие средства и другие жидкие материалы нарушают структуру, создают полости для накопления влаги и вносят загрязнения. Источниками влаги и загрязнений являются отпечатки пальцев и пыль, отрицательное воздействие оказывает и неполная осушка после промывки составных частей.

Влияние влаги может привести к снижению эффективности, ухудшению качества и как следствие к постепенным и внезапным отказам ЭС. Так наличие влаги на поверхности печатных плат и тонкопленочных пассивных элементов приводит к электролитической или химической коррозии, образованию закорачивающих перемычек, потерь и утечек в диэлектриках. Наличие влаги на поверхности полупроводниковых бескорпусных элементах может привести к сорбции влаги поверхностью, скоплению положительных зарядов, образованию слоя накоплении зарядов в полупроводнике под влиянием поверхностных ионов.

Воздействие влаги на конструкционные материалы (металлы и диэлектрики) также может привести к снижению надежности ЭС. Механизм взаимодействия влаги с конструкционными материалами зависит от характера материала (органический, неорганический) и его способности поглощать (сорбировать) влагу или удерживать ее на поверхности (адсорбировать). Поглощение влаги обусловлено тем, что материалы содержат поры, значительно большие молекулы влаги ($3 \cdot 10^{-10}$ м). Например, межмолекулярные промежутки в полимерах составляют 10^{-9} м, поры в керамике – 10^{-5}м.

Органические материалы поглощают влагу через капилляры или путем диффузии, неорганические взаимодействуют с влагой, конденсирующейся или адсорбируемой на поверхности. Действие влаги усиливается при контакте металлов с сильно отличающимися электрохимическими потенциалами, а также в местах сварных и паяных швов.

При замерзании сконденсированной влаги может нарушиться прочность паяных и сварных соединений, произойти расслоение многослойных печатных плат, обрыв проводников, появление трещин в подложках и т.д.

Все сказанное выше, как правило, приводит к отказу ЭС выполненных как герметичных, так и в негерметичных конструкциях.

5.2 Способы влагозащиты электронных средств

Основным назначением защиты ЭС (узлов и элементов) от влаги является обеспечение работоспособности отдельных его узлов, элементов и ЭС в целом в процессе производства, хранения и эксплуатации в течение заданного периода времени. Физический смысл защиты от влаги заключается в стабилизации

процессов на поверхности и в объеме защищаемой конструкции изделия, т.е. в стабилизации его параметров в заданных пределах при изменении параметров окружающей среды.

От конструкции влагозащиты наряду с надежностью зависят следующие параметры ЭС:

- габариты и масса;
- стоимость;
- удобство ремонта и технического обслуживания;
- возможность механизации и автоматизации производства.

Сложность создания влагозащитной конструкции ЭС состоит в том, что на нее кроме влагозащитной функции возлагают также функции:

- несущей конструкции;
- обеспечения нормального теплового режима;
- защиты от электромагнитных воздействий;
- защиты от ионизирующих излучений и т. д.

В настоящее время существует много конструкторско-технологических средств защиты изделия от влаги. Предлагаемая классификация защиты ЭС от влаги с точки зрения конструкции и технологии производства имеет вид в соответствии с рисунком 5.2.

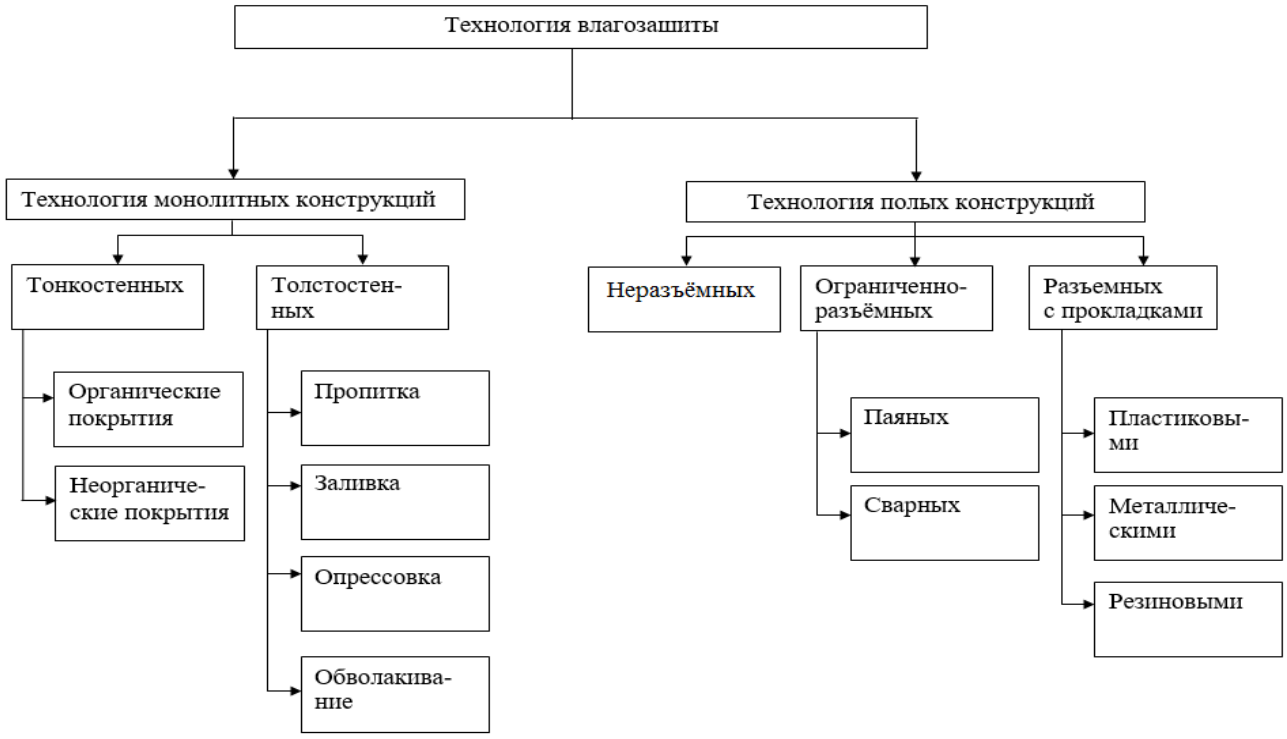


Рисунок 5.2 – Классификация средств влагозащиты ЭС

Все способы влагозащиты ЭС разделяют на две группы: монолитные и полые. Монолитные конструкции составляют неразрывное целое с защищаемым узлом или элементов ЭС. Полые влагозащитные конструкции позволяют осво-

бодить защищаемое изделие от механического контакта с элементами конструкции, что обеспечивает работу изделия в более широком диапазоне температур и исключает химическое взаимодействие элементов конструкции и защищаемого изделия.

5.3 Монолитные тонкостенные конструкции

Монолитные тонкостенные конструкции (пленочные покрытия) применяют для:

- технологической защиты элементов (например, бескорпусных электрорадиоизделий) на этапе изготовления, сборки и монтажа ЭС, подлежащих на заключительном этапе изготовления герметизации;

- защиты (покрытия) деталей ЭС, подвергающихся воздействию влаги (коррозии) в процессе эксплуатации.

К защитным покрытиям можно отнести покрытия металлических панелей и других металлических конструкций, а также покрытия неметаллических деталей и печатных плат. Например, покрытия цинком или кадмием стальных панели и деталей после специальной обработки, дают хорошие влагозащитные результаты.

В то же время необходимо отметить, что пленочные покрытия не могут служить конструктивной основой для деталей ЭС, т.к. их толщина составляет от 0,2 до 30 мкм

К материалам пленочных покрытий предъявляют следующие требования:

- хорошие влагозащитные свойства (малая влагопроницаемость, отсутствие пор);

- возможность работы в диапазоне температур (близость ТКЛР материала пленочного покрытия и материала защищаемой детали);

- хорошая адгезия к материалу, защищаемого компонента.

Идеальных материалов не бывает, поэтому выбрать материал, одновременно удовлетворяющий всем вышеназванным требованиям невозможно. Следовательно, выбор материала выполняют в каждом конкретном случае путем компромиссного решения.

Например, ТКЛР пленок SiO_2 существенно отличается от ТКЛР кремния, в связи с чем пленки SiO_2 плохо работают в широком диапазоне температур.

Гидрофобные пленочные покрытия имеют способность к водоотталкиванию, но их температурная стойкость не превышает 250 °С.

Пленки из эластичных лаков хорошо защищают от влаги, но в процессе покрытия трудно осуществить равномерность толщины пленки по всей площади и ее контроль.

В ряде случаев для защиты полупроводниковых кристаллов применяют покрытия пленками стекла, соблюдая при этом правило совпадения ТКЛР.

Для защиты от коррозии несущих металлических конструкций применяют пленочные покрытия, нанесенные горячим способом, гальванически, диффузией.

В таблице 5.1 приведены некоторые наиболее распространенные металлические покрытия.

Таблица 5.1 – Металлические антикоррозионные покрытия

Покрытие	Область применения	Материал защищаемых деталей	Толщина покрытия, мкм
Цинковое	Защита от коррозии корпусов, крышек, панелей, каркасов, резьбовых крепежных деталей и др.	Сталь, медь, сплавы	6 – 30
Кадмиевое	Защита от коррозии в морских условиях крышек, панелей, каркасов, резьбовых крепежных деталей и др.	Сталь, алюминий, сплавы	12 – 30
Никелевое	Защита от коррозии экранов, сердечников, корпусов, ручек, и т.п.; придание деталям повышенной отражательной способности;	Сталь, медь, сплавы	

Для правильного выбора покрытия рекомендуется пользоваться «ОСТ 107.9.3001-87 Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору»

5.4 Монолитные толстостенные конструкции

Для защиты от влаги элементов и узлов ЭС с помощью толстостенных монолитных конструкций, являющихся одновременно конструктивной основой (несущей конструкцией) используют: пропитку, заливку, опрессовку и обволакивание.

Пропитка

Пропитка нашла широкое применение для защиты от влаги моточных изделий (катушек индуктивностей, дросселей, трансформаторов, обмоток электродвигателей и др.) а также деталей, изготавливаемых из волокнистых и пористых материалов (детали из электробумаги, электрокартона и др.).

При пропитке из полостей и пор вытесняется воздух, и они заполняются пропиточным составом (лаком или компаундом), который под действием температуры полимеризуется и приобретает твердое состояние. Это приводит к увеличению электрической и механической прочности (электрическая и механическая прочность твердого диэлектрика всегда выше прочности воздуха), улучшению теплоотвода (теплопроводность твердого диэлектрика всегда выше теплопроводности воздуха), но одновременно увеличивается масса, паразитная емкость (диэлектрическая проницаемость твердого диэлектрика всегда выше диэлектрической проницаемости воздуха), интенсифицируются химические и электорохимические процессы в местах пайки или сварки внешних выводов.

Для специальных изделий, требующих высокой степени влагозащиты, пропитку выполняют в вакуумных установках, в которых обеспечивается полное удаление воздуха из самых мелких полостей и пор.

При выборе пропиточного состава необходимы следующие требования:

- высокая проникающая способность;
- химическая нейтральность;
- высокая цементирующая способность;
- высокая электрическая прочность;
- высокая теплопроводность и термостойкость;
- высокая адгезия к материалам защищаемого элемента и др.

Для пропитки используют следующие материалы: пропиточные лаки марок КО-916, ПФЛ-86, ЭТР-5; церезин, парафин и др.

Пример пропитки в соответствии с рисунком 5.3.



1 –катушка на каркасе 2 – катушка на гильзе

Рисунок 5.3 – Примеры пропитки

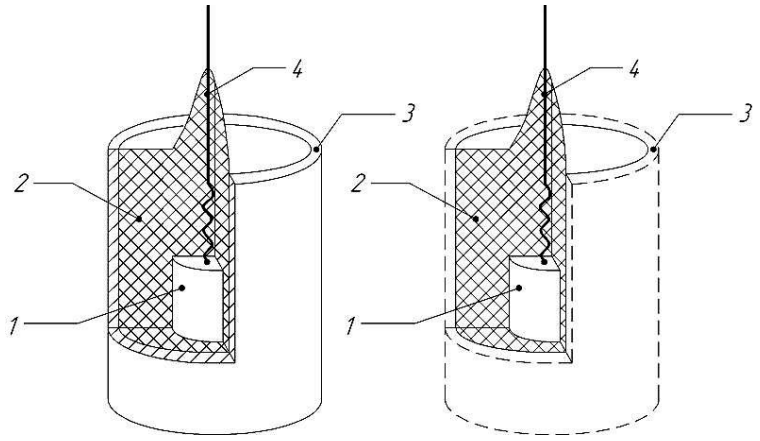
Заливка

Заливка нашла широкое применение для защиты от влаги таких конструкций РЭС как трансформаторы, изоляторы, умножители напряжений, высоковольтные узлы и т.д. В таких конструкциях кроме влагозащитных свойств требуется создать несущую конструкцию и обеспечить высокую электрическую прочность, минимальные токи утечки и др.

Заливка – это сплошная упаковка изделия в изоляционную массу. В зависимости от конструкции изделия заливку выполняют в двух вариантах:

- вариант 1 – путем заполнения изоляционной массой свободного промежутка между изделием и стенками корпуса (корпусная заливка);
- вариант 2 – путем заполнения изоляционной массой свободного промежутка между изделием и стенками заливочной формы (бескорпусная заливка).

Оба варианта заливки имеют вид в соответствии с рисунком 5.4.



Вариант 1 Вариант 2

1 – заливаемый элемент 2 – изоляционная масса

3 – корпус 4 – вывод заливаемого элемента

Рисунок 5.4– Варианты заливки

В варианте 1 (корпусная заливка) корпус служит конструктивной основой изделия, а заливочный материал обеспечивает только влагозащитные характеристики.

В варианте 2 (бескорпусная заливка) заливочный материал кроме влагозащитных характеристик выполняет функцию несущей конструкции. На рисунке заливочная форма показана пунктирной линией, ее конструкция аналогична конструкции корпуса в корпусной заливке. Отличие состоит в том, что после заливки и полимеризации заливочного материала, заливочная форма убирается, поэтому она должна иметь конструкцию, обеспечивающую легкое извлечение изделия из формы, например, разборную.

В связи со сказанным к материалу заливочной формы предъявляется следующее специфическое требование: минимальная адгезия к заливочному материалу, что позволяет исключить «прилипаемость» формы к заливочному материалу. Заливочные формы выполняют в основном из полированной стали и фторопласта. Для улучшения технологии изготовления иногда стенки формы покрывают специальными смазочными материалами.

При выборе заливочного материала особое внимание обращают на:

- близость ТКЛР материала заливки и материала защищаемого изделия, т.к. это влияет на внутренние напряжения в заливочном материале;

- на близость ТКЛР материала заливки и материала внешних выводов, т.к. это влияет на образование каналов проникновения влаги при изменении температуры окружающей среды.

Для защиты заливаемых изделий от механических нагрузок, возникающих в результате внутренних напряжений в заливочном материале, принимают следующие конструкторско-технологические меры:

- ограничивают толщину заливки, не нарушая при этом прочностные (сточки зрения механики и электрики) характеристики изделия;

- наиболее чувствительны к механическим напряжениям элементы (например, диоды в высоковольтном умножителе напряжения) размещают как можно ближе к центру конструкции;

- отдельные элементы (например, магнитные) помещают в защитные пластмассовые каркасы;

- перед заливкой защищаемые компоненты покрывают тонким слоем эластичного материала.

Последний вариант защиты заливаемых компонентов в настоящее время нашел самое широкое распространение в процессе производства РЭС. Разработанные современные эластичные материалы, имеющие высокие характеристики (демпфирование механических нагрузок и электрическая прочность) дают хорошие результаты при использовании их в технологии заливки. Так применение эластичного материла типа «КЛТ» толщиной 0,025, 0,062 и 0,087 мм снижает контактное давление на 30, 70 и 80 % соответственно. Внешний вид заливки с подслоем эластичного материала и без него показан на рисунке10.5.

Для заливки используют следующие компаунды: эпоксидные (ЭЗК, ЭК и др.), эластичные полиуретановые (10 – 10, 10 – 20 и др.), кремнийорганичесие (Виксинд и др.), и полиэфирные (МБК) и др. Особое место среди заливочных материалов занимают пенокомпаунды марок ПУ, ППУ, ПЭН и др. Эти компаунды, имеющие малую плотность (от 10 до 300 кг/м^3), близкую к воздуху диэлектрическую проницаемость (порядка 1,05) и сравнительно низкий тангенс угла диэлектрических потерь (порядка 0,002), определили широкое их применение в антенной технике.

Пример заливки катушки, установленной на магнитопроводе в соответствии с рисунком 5.5.

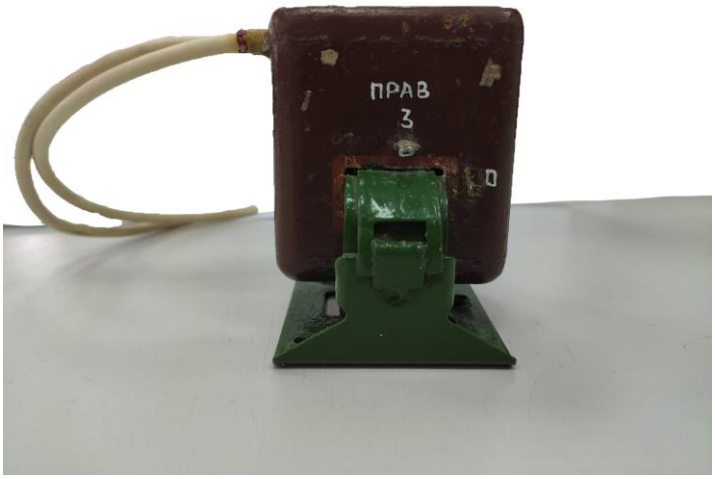


Рисунок 5.5 – Пример заливки катушки на магнитопроводе

Опрессовка

Опрессовка – это защита от влаги тонким слоем полимерного материала методами прессования в специальных пресс-формах. В качестве полимерного материала применяют термопластичные или термореактивные пластмассы.

Опрессовку используют в основном для защиты от влаги малогабаритных изделий РЭС, таких как различные ЭРИ (конденсаторы, микросхемы и др.), микросборки и т.п. Опрессровка позволяет одновременно с защитой от влаги надежно закрепить выводы опрессовываемых компонентов и создать несущую конструкцию, способную выдержать соответствующие механические перегрузки. Технология опрессовки хорошо поддается автоматизации и пригодна для массового производства.

Внешний вид опрессовки (микросхемы) выполнен в соответствии с рисунком 5.6.

При выборе материала для опрессовки необходимо учитывать близость значений ТКЛР пластмассы и материала выводов электрорадиоизделий, толщину опрессовки, значения диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и электрической прочности пластмассы.

Толщина опрессовки выбирается из условий обеспечения: надежности влагозащиты, технологических требований (необходимость выполнения минимально-допустимой толщины стенки) и минимальных внутренних напряжений. При определении толщины опрессовки необходимо иметь в виду, что при толщине менее 2 мм возможно повреждение защищаемого компонента в пресс-форме, а при большой толщине и изменении температуры окружающей среды внутри опрессовки могут возникнуть недопустимые внутренние напряжения. Для опрессовки используют различные пресс-материалы, например АГ-4В, К-124-18 и др.

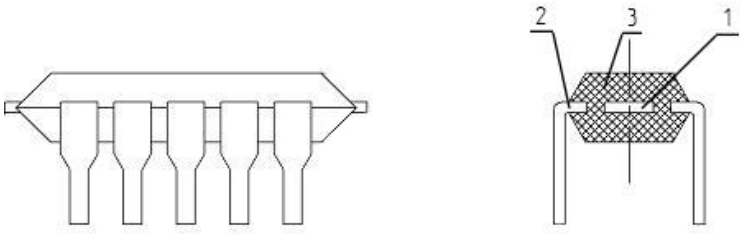


Рисунок 5.6 – Опрессовка микросхем

Обволакивание

Обволакивание применяют для защиты от влаги печатных плат, дискретных электрорадиоизделий, бескорпусных элементов, микросборок, паяных и сварных швов и т.д.

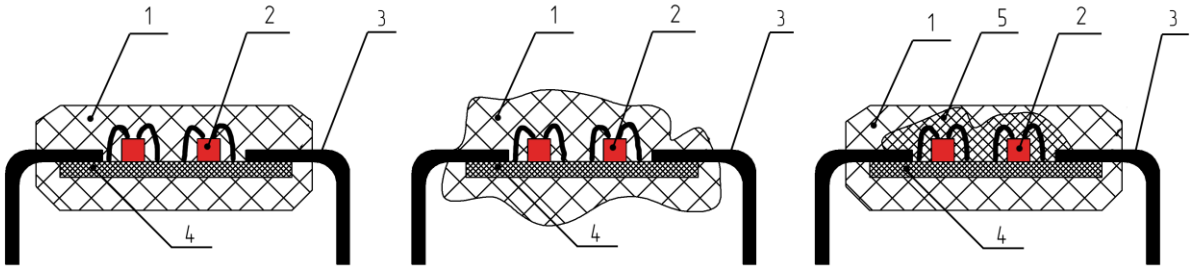
Основным преимуществом обволакивания является автоматизация технологического процесса и высокая экономичность метода, недостатком – толстый и неконтролируемый слой покрывного материала возможность применения метода для нежестких условий эксплуатации.

Для обволакивания применяют лаки (УР-231, ВЛ-931 и др.) и компаунды (ЭЗК-6, УП-2191К и др.).

Особое место среди материалов, применяемых для обволакивания, занимают анаэробные герметики, которые в течение длительного времени (годы) сохранят желеобразное состояние в присутствии кислорода воздуха и практи-

чески мгновенно превращаются в твердое состояние в отсутствии кислорода воздуха. Анаэробные герметики нашли широкое применение для герметизации различных мест соединений, которые могут под воздействием внешних факторов терять свои свойства герметичности. В данном случае герметик наносят на поверхность предполагаемого место нарушения герметичности, где он будет находиться в желеобразном состоянии. При нарушении герметичности, т. е. образования, например трещины герметик, затекает в нее и затвердевает, образуя прочное герметичное соединение.

Внешний вид обволакивания в соответствии с рисунком 5.7.



заливка бескорпусная обволакивание заливка с подслоем эластичного материала

1 – влагозащитный лак или компаунд 2 – электрорадиоизделие
3 – металлический вывод 4 – плата печатная 5 – эластичный материал

Рисунок 5.7 – Монолитные влагозащитные конструкции

5.5 Полые конструкции

5.5.1 Полые неразъемные конструкции

Полые неразъемные конструкции применяют для защиты от влаги изделий при эксплуатации, которых не требуется проведение профилактических и ремонтных работ.

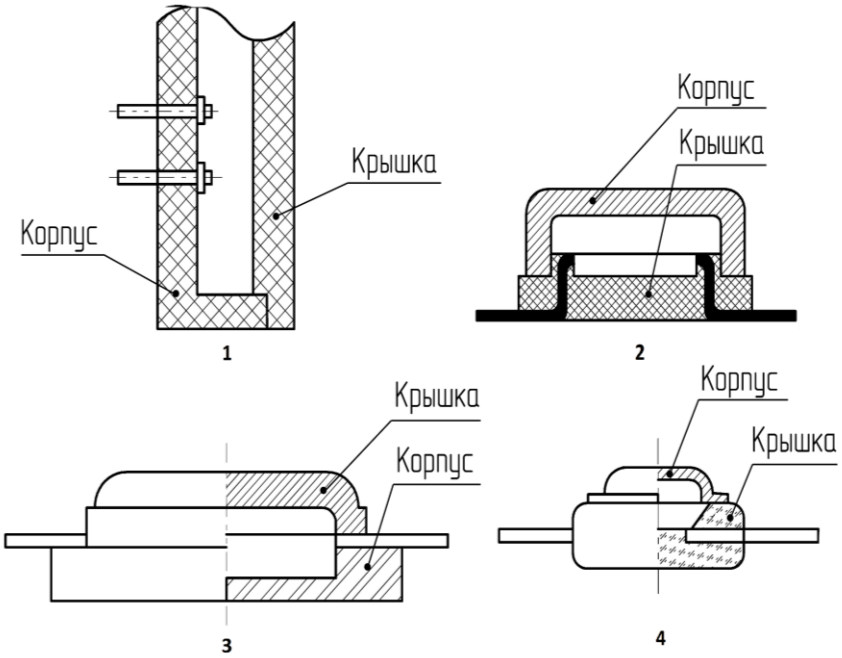
Применение полых неразъемных конструкций позволяет:

- исключить механический контакт их с защищаемым изделием, что исключает передачу механических напряжений;
- устранить химическое взаимодействие материала оболочки и с защищаемым изделием;
- улучшить теплоотвод при использовании оболочек из материала, теплопроводность которых выше теплопроводности полимеров, применяемых при защите изделий монолитными полимерными оболочками;
- повысить надежность влагозащиты;
- улучшить электромагнитное экранирование при использовании оболочек из металла или металлизированных полимеров или керамики;

- ослабить паразитные связи между элементами внутри оболочки, т.к. диэлектрическая проницаемость воздуха всегда меньше диэлектрической проницаемости твердых полимерных материалов, при защите изделий монолитными полимерными конструкциями.

Основной недостаток полых полимерных конструкций заключается в возможности проникновения влаги в результате диффузии через полимер, а также по границе вывод – полимер при образовании каналов из-за различия ТКЛР материала вывода (металл) и пластмассы.

Более надежными с точки зрения влагозащиты, но и более дорогими являются полые металлополимерные, металлокерамические и металлостеклянные конструкции, внешний вид которых в соответствии с рисунком 5.8.



1 – полимерная конструкция 2 – металлополимерная конструкция
3 – металлокерамическая конструкция 4 – металлостеклянная конструкция

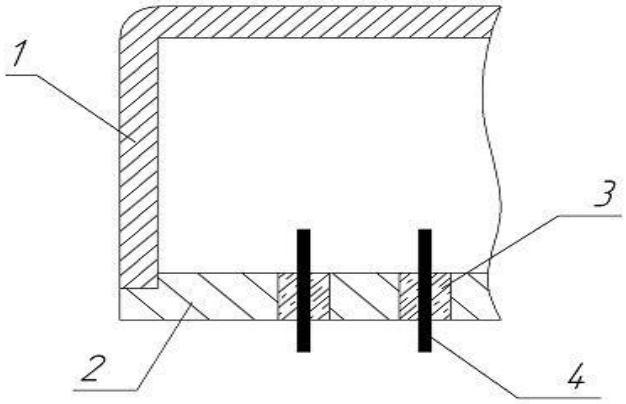
Рисунок 5.8 – Полые неразъемные конструкции

Наличие части оболочки, например крышки из металла, уменьшает площадь, через которую может проникнуть влага. Металлокерамические оболочки имеют большую стоимость, т.к. при их изготовлении используют дорогие материалы, содержащие молибден, палладий и др.

В профессиональной технике специального назначения в настоящее время широкое применение получили полые неразъемные металлические оболочки, имеющие наилучшие показатели влагозащиты. Однако данные корпуса имеют и большую стоимость, например стоимость одной и той же микросхема в пластмассовом и металлическом корпусе будет отличаться от10 до20 раз.

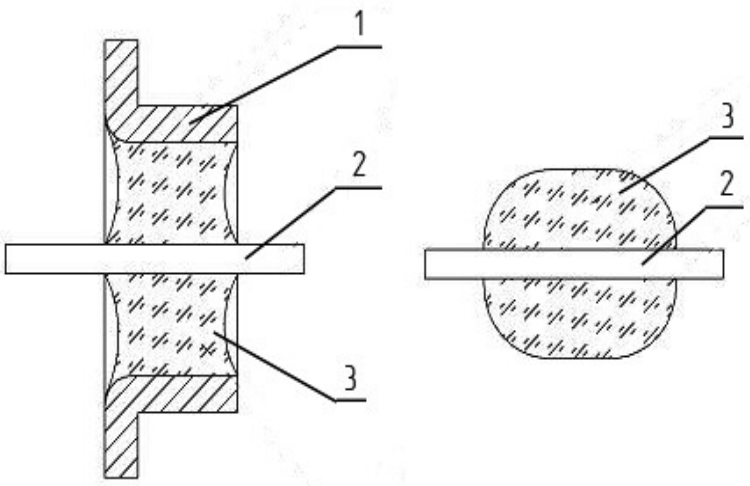
Для изоляции от металлического корпуса внешних выводов используют изоляторы из стекол с близкими значениями ТКЛР, что позволяет получить герметичные металлостеклянные спаи, работающие в широком диапазоне тем-

пературы в соответствии с рисунком 5.9. Внешний вид таких металлостеклянных спаев в соответствии с рисунком 5.10.



1 – металлический корпус 2 – металлическая крышка
3 – стеклянный изолятор 4 – металлический вывод

Рисунок 5.9 – Металлостеклянный спай



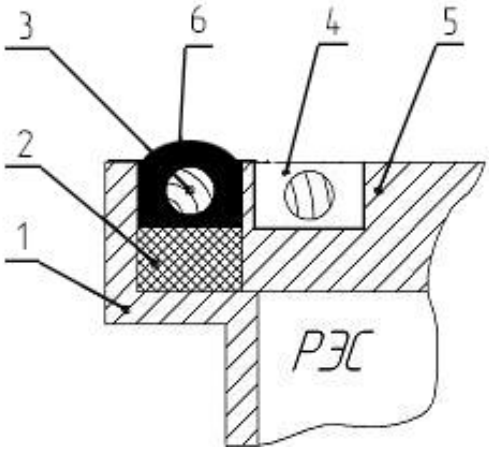
1 – элемент металлического корпуса 2 – металлический вывод
3 – стеклянный изолятор

Рисунок 5.10 – Металлостеклянный спай

5.5.2 Полые ограниченно-разъемные конструкции

Для изделий, в процессе эксплуатации которых требуется проведение небольшого количества ремонтных работ, используют полые ограниченно-разъемные оболочки двух типов: *регенерируемые паяные и сварные соединения*.

Внешний вид регенерируемого паяного соединения схематически показан на рисунке 5.11.



1 – корпус 2 – резиновая прокладка 3 – проволока.
4 – паз в крышке 5 – крышка 6 – припой
Рисунок 5.11 – Ограниченно-разъемная паяная конструкция

Соединение состоит из корпуса 1 и крышки 5, размеры которой меньше размеров корпуса, т. е. между корпусом и крышкой конструктивно создан зазор определенного размера. Для предотвращения попадания внутрь корпуса, где расположено ЭС, газов и флюсов при пайке корпуса и крышки, в зазор между ними помещают резиновую прокладку 2, ширина которой на 0,2 мм больше ширины зазора между корпусом и крышкой. Над прокладкой, в зазор между корпусом и крышкой по всему периметру, помещают стальную луженую проволоку 3 диаметром примерно 0,8 мм, свободный конец которой выводят в паз 4, расположенный в крышке по всему периметру. Диаметр проволоки выбирается таким, чтобы обеспечивалось свободное проникновение припоя вокруг него, т.е. диаметр проволоки должен быть меньше размера зазора на величину от 0,1 до 0,2 мм.

Ширина паза в крышке, имеющего двойное назначение, равна ширине зазора между корпусом и крышкой. С одной стороны паз предназначен для вывода в него свободного конца проволоки, а с другой стороны он разгружает паяный шов от механических напряжений пари изменении температуры окружающей среды.

Перед пайкой поверхности корпуса и крышки, расположенные в зазоре должны быть залужены. Последним этапом сборки соединения является пайка, путем заполнения зазора между корпусом и крышкой припоем 6.

При необходимости разборки соединения, его подогревают до температуры размягчения припоя, и затем извлекают проволоку за свободный ее конец, расположенный в пазе крышки. Перед последующей сборкой заменяют при необходимости резиновую прокладку и выполняют операцию чистки корпуса и крышки, удаляя из зазора остатки старого припоя и загрязнения, образовавшиеся во время разборки.

К недостаткам регенерируемого паяного соединения следует отнести:

- большую площадь, занимаемую паяным швом;
- ограниченный объем ЭС;

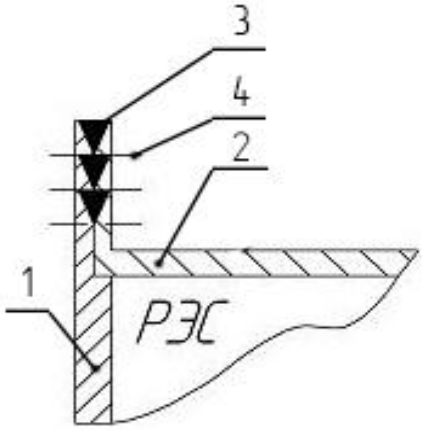
- возможность проникновения газов при пайке внутрь корпуса и их конденсации на компонентах ЭС;

- ограниченное число разборок – сборок определяемое толщиной стенок корпуса и крышки, которые постепенно уменьшаются при механической чистке их перед последующей сборкой.

Внешний вид регенерируемого сварного соединения схематически показан на рисунке 5.12.

В регенерируемом сварном соединении свариваемые кромки корпуса 1 и крышки 2 имеют увеличенный размер, но сварка осуществляется не по всей длине кромки, а только по части ее. При необходимости разборки соединения сваренный участок удаляют одним из способов механической обработки металлов (точением, фрезерованием и др.). Таким образом, количество разборок – сборок соединения определяется размером кромок корпуса и крышки.

При герметизации ЭС регенерируемым паяным или сварным соединением необходимо учитывать, что при пайке и сварке выделяется достаточно большое количество тепловой энергии, от воздействия которой необходимо защитить находящиеся внутри корпуса изделия. Для этой цели используют различные технологические теплоотводы.



1 – корпус 2 – крышка 3 – сварной шов
4 – линия разреза

Рисунок 5.12 – Ограниченно-разъемная сварная конструкция

5.5.3 Полые разъемные конструкции

Для изделий, при изготовлении и эксплуатации которых требуется многократные разборки и сборки применяют полые разъемные конструкции.

Применение таких конструктивных решений особенно актуально на этапе производства и эксплуатации ЭС по следующим причинам:

- в большой номенклатуре профессиональной и особенно специальной аппаратуре при изготовлении требуется регулировка и настройка ее, вследствие чего возникает необходимость частичной разборки изделия с целью обеспечения доступа к регулируемым элементам конструкции;

- в сложной аппаратуре на этапе изготовления, регулировки и технологической тренировки очень часто требуется выполнять замену отказавших ЭРИ,

вследствие чего также возникает необходимость открывания и закрывания элементов конструкции.

Применение полых разъемных соединений также целесообразно для ЭС, имеющих большие габариты и для ЭС, которые по условиям эксплуатации должны быть пригодными для ремонта.

В качестве материала уплотняющих прокладок в полых разъемных соединениях применяют: пластмассы, мягкие металлы и резины.

Для изготовления пластмассовых прокладок применяют полиамиды, этиленпласты, винипласты, фторопласты и др. материалы. К преимуществам уплотняющих пластмассовых прокладок следует отнести их низкую стоимость и стойкость к агрессивным средам. К недостаткам – низкую температурную стойкость и недостаточную упругость.

Металлические уплотняющие прокладки изготавливают из мягких металлов: меди, алюминия, индия, свинца.

Преимуществом металлических прокладок является возможность использования их в широком диапазоне температур от минус 250 до +150 °С. Недостатком металлических прокладок является их одноразовость использования из-за необратимой деформации при установке.

Наибольшее применение в ЭС для герметизации разборных соединений нашли резиновые уплотняющие прокладки. Современные материалы, используемые для изготовления резиновых уплотняющих прокладок, обеспечивают эксплуатацию ЭС практически во всем температурном интервале, причем ряд материалов стоек к наиболее распространенным агрессивным средам.

Разъемные конструкции с резиновыми прокладками подразделяют на конструкции с *самоуплотнением* прокладок и с *принудительным уплотнением* прокладок рисунок

Фланцевое соединение разъемной конструкции с самоуплотнением резиновыми прокладками имеет вид в соответствии с рисунком 5.13.

Фланцевое соединение разъемной конструкции с принудительным уплотнением резиновыми прокладками имеет вид в соответствии с рисунком 5.14.

В конструкции с самоуплотнением резиновая прокладка помещается в гнездо, выполненное в одной из составных частей (корпус или крышка) несущей конструкции РЭС или в одном из двух фланцев соединяемых деталей. Затем составные части сжимаются на регламентируемую величину, называемую *натягом*, так, чтобы гнездо не было полностью заполнено прокладкой. Таким образом составные части или фланцы сжимаются плотно, а натяг обеспечивается правильным выбором размеров прокладки и гнезда, которые вычисляют по формуле

$$B_{КН}H_{КН} \approx 1{,}15 \cdot B_{ПР}H_{ПР}\,, \qquad (5.1)$$

где $B_{КН}$, $H_{КН}$, $B_{ПР}$, $H_{П}$ – соответственно размеры канавки и прокладки, мм

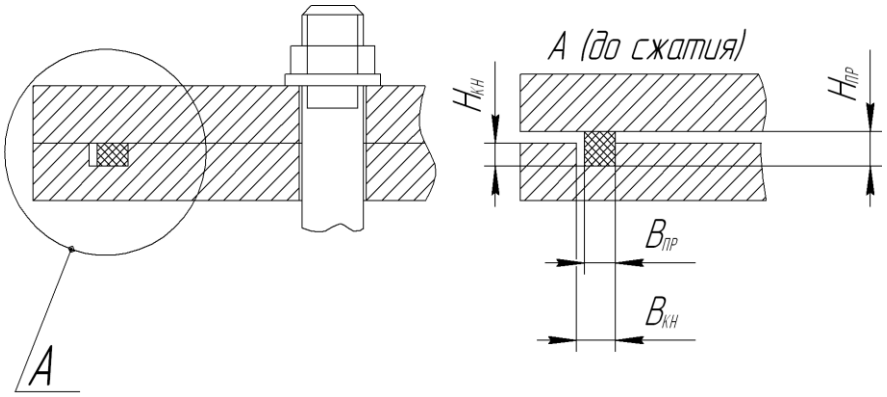


Рисунок 5.13 – Разъемная конструкция с самоуплотнением резиновой прокладкой

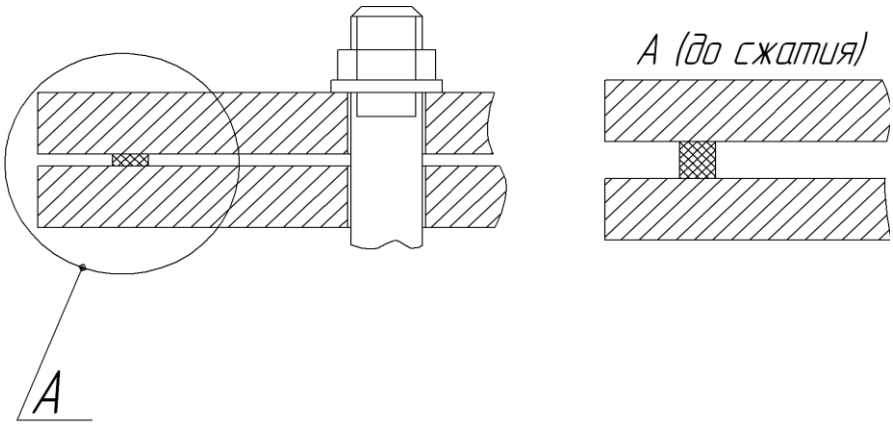


Рисунок 5.14 – Разъемная конструкция с принудительным уплотнением резиновой прокладкой

Конструкции с самоуплотнением нашли широкое применение в ЭС:

- имеющих внутри избыточное давление заполняющего инертного газа;
- требующих жесткого соединения крышки с корпусом для обеспечения надежности работы в условиях вибрации;
- требующих гальванической связи между корпусом и крышкой, например в соединениях отрезков волноводных линий передач.

В конструкции с принудительным уплотнением резиновая прокладка сжимается давлением, превышающем давление окружающей среды и, следовательно, натяг определяется усилием затяжки резьбовых соединений, например, фланцевых болтов.

В конструкциях с принудительным уплотнением резиновыми прокладками, работающими при значительном перепаде температур, необходимо рассчитать допустимый зазор между корпусом и крышкой и усилие затяжки.

Допустимый зазор вычисляют из условия не вытекания резины пользуясь данными таблицы 5.2.

Усилие затяжки вычисляют по диаграмме зависимости между температурой и напряжением резины в замкнутом объеме в соответствии с рисунком 5.15.

Таблица 5.2 – Упругие свойства резин при различных зазорах

Твердость резины по Шору А, единиц	Зазор, мм, при давлении среды Р, МПа						
	10	20	30	40	50	60	80
30	0,50	0,30	0,25	0,25	0,20	0,15	0,10
45	0,50	0.40	0,30	0,25	0,20	0,15	0.13
60	-	-	0.40	0.40	0.30	0,30	0.30
80	-	-	-	-	0.50	0.50	0.40

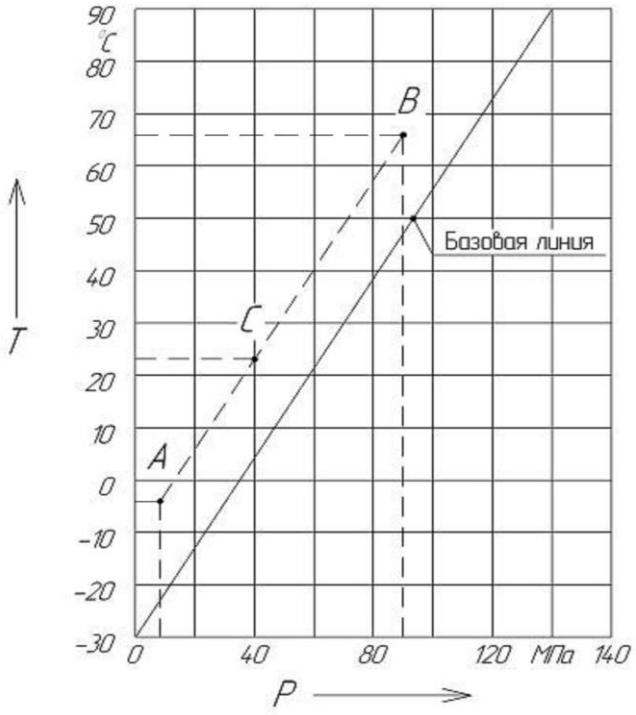


Рисунок 5.15 – Диаграмма для расчета усилия затяжки

Рассмотрим пример расчета

Определить усилие затяжки принудительного уплотнения фланцевого соединения двух частей несущих конструкций ЭС, работающего в интервале температур от минус 5 до +65 °С при условии, что сборка ЭС будет выполняться при цеховой температуре +22 °С при помощи резиновых прокладок с твердостью 30 единиц по Шору А в соответствии с ГОСТ 263-75.

Решение

Шаг 1. По таблице 6.2 определяем, что для указанной марки резины при давлении 10 МПа, допустимый зазор будет составлять 0,5 мм.

Шаг 2. В системе координат T=F(P) строим базовую характеристику выбранной (по нормативным документам) марки резины, например в соответствии с рисунком 6.15.

Шаг 3. В системе координат T=F(P) определяем положение точки А, соответствующее выбранному наименьшему напряжению в резине при минимальной температуре. В рассматриваемом примере это 8 МПа при температуре минус 5 °С (задана условием). Из положения точки А видно, что она находится выше базовой линии, т.е. герметичность обеспечивается. Далее проводим пунк-

тирную линию параллельную базовой характеристике и на ней отмечаем положение точки В, соответствующее максимальной рабочей температуре В нашем примере это температура +65 °С. Давление в этой точке будет равно 90 МПа.

Шаг 4.

На пунктирной (рабочей) характеристике отмечаем положение точки С, соответствующее температуре цеха (в нашем примере +22 °С) и определяем необходимое усилие затяжки при сборке ЭС. В нашем примере это 40 МПа.

При выполнении принудительного уплотнения необходимо учитывать, что резина обладает свойством *релаксации*, т. е. постепенным падением внутреннего напряжения при неизменной деформации. Так через 20 минут напряжение снижается на 14 %, через двое суток – 25 % и затем стабилизируется. Для устранения этого эффекта необходимо через двое суток после сборки выполнять повторное обжатие, после чего релаксация в среднем составляет 6 % за 20 суток.

5.6 Оценка степени герметичности электронных средств

В настоящее время в технологическом цикле производства ЭС используются различные методы оценки герметичности конструкций, среди которых наибольшее применение нашли:

- керосино-меловый метод;
- метод на спад давления;
- метод бароаквариума;
- метод щупа.

Керосино-меловый метод

Данный метод применяют для проверки герметичности несложных по форме конструкционных деталей (крышка, панель и т.п. металлические изделия), изготовленных из материалов допускающих соприкосновения с керосином.

Принцип проверки керосино-меловым методом заключается в следующем:

- одну из поверхностей испытуемого изделия (панель, крышка и др.) полностью покрывают меловой обмазкой, представляющей собой раствор порошка мела природного обогащенного по ГОСТ 12085-88 в воде питьевой по СанПиН 2.1.4.1074-01;

- после высыхания обмазки, изделие переворачивают и на противоположную сторону наносят тонкий слой керосина авиационного марки Т-1 по ГОСТ 10227-2013. Для предотвращения стекания керосина с поверхности изделия, по периметру поверхности наносят узкую полоску (буртик) из замазки уплотнительной У-20А по ТУ 38.105357-85. Керосин наносят трехкратно с интервалом от 2 до 3 минут;

- через некоторое время (оговоренное техпроцессом, но не менее 15 минут), наблюдают на поверхности с меловой обмазкой возможные жировые пятна проникновения керосина, свидетельствующие о местах нарушения герметичности в структуре металла или швах изделия.

Из приведенного описания керосино-мелового метода можно сделать вывод, что данный метод позволяет оценить не только герметичность изделия, но и определить конкретное дефектное место в конструкции.

Метод на спад давления

Данный метод применяют для проверки герметичности объемных изделий любой формы, имеющих замкнутый внутренний объем (бак, сосуд и т.п.) или изделий, состоящих например, из корпуса и крышки. Метод позволяет также оценить герметичность различных соединений, например корпуса и крышки.

Принцип проверки методом на спад давления заключается в следующем:

- изделие испытуемое заполняют контрольным веществом (газом) под избыточным давлением, указанным в технической (технологической или конструкторской) документации на изделие;
- после выдержки в течение времени, необходимого для стабилизации внутреннего давления контрольного вещества в изделии испытуемом, производят измерения манометрического давления контрольного вещества в изделии, атмосферного давления и температуры окружающего воздуха;
- по истечении времени испытания, указанного в технической документации, вновь производят измерения манометрического давления контрольного вещества в изделии, атмосферного давления и температуры окружающего воздуха;
- по разнице измерений выполненных в начале и в конце испытания, определяют спад давления и герметичность (величина утечки контрольного вещества) изделия.

Схема электропневматическая общая стенда проверки герметичности ЭС методом на спад давления приведена в соответствии с рисунком 5.16. Перечень элементов приведен в таблице 5.3.

Проверку герметичности ЭС методом на спад давления проводят в следующем порядке:

- собирают стенд в соответствии с рисунком 5.16 и таблицей 5.3;
- по манометру МН1 убеждаются, что баллон заполнен газом под избыточным давлением;
- устанавливают вентиль ВН1 в крайнее левое положение (открывают), а вентиль ВН2 в крайнее правое положение (закрывают);
- плавно открывают вентиль баллона А1, устанавливают по манометру МН2 избыточное давление контрольного вещества в изделии испытуемом, соответствующее указанному в технической документации и закрывают вентиль баллона А1 и вентиль ВН1;
- выдерживают изделие в течение 2 минут для стабилизации избыточного давления;
- производят измерения избыточного давления контрольного вещества в изделии P_1 по манометру МН2, атмосферного давления $P_{1атм}$ по барометру МН3 и температуры окружающего воздуха T_1 по термометру Т1;

- выдерживают время, указанное в технической документации на изделие, по истечении которого производят повторные измерения P_2, $P_{2атм}$, T_2 по МН2, МН3 и Т1 соответственно;
- включают вытяжную вентиляцию А2;
- плавно открывают вентиль ВН2 и сбрасывают избыточное давление контрольного вещества до нулевого показания манометра МН2, после чего закрывают вентиль ВН2;
- разбирают стенд, приводят все оборудование в исходное состояние.
- вычисляют спад давления ΔP, ат, по формуле

$$\Delta P = \left(P_1 + P_{1атм}\right)\frac{293}{T_1 + 273} - \left(P_2 + P_{2атм}\right)\frac{293}{T_2 + 273}, \qquad (5.2)$$

где P_1 и P_2 – избыточное давление контрольного вещества в начале и в конце испытания, ат;
$P_{1атм}$ и $P_{2атм}$ – атмосферное давление в начале и в конце испытания, ат;
T_1 и T_2 – температура окружающего воздуха в начале и в конце испытания, °С;

- вычисляют герметичность изделия $Q_{ИЗД}$, дм^3·ат/с, по формуле

$$Q_{ИЗД} = V \cdot \Delta P / \Delta t, \qquad (5.3)$$

где V – внутренний объем изделия, дм^3;
ΔP – спад давления, определяемый как $(P_1 - P_2)$, ат;
Δt – время испытания, с.

Примечания

1 Внутренний объем изделия определяют путем вычисления по геометрическим размерам, которые измеряют с помощью мерительного инструмента или определяют по конструкторской документации.

2 При проведении испытаний на герметичность принято пользоваться внесистемной единицей давления – технической атмосферой (ат), в которой измеряют большинство манометров.

Из приведенного описания метода на спад давления можно сделать вывод, что данный метод позволяет оценить только герметичность изделия в целом, но не определяет конкретное дефектное место в конструкции.

Метод бароаквариума

Данный метод, также как и метод на спад давления, применяют для проверки герметичности объемных изделий любой формы, имеющих замкнутый внутренний объем (бак, сосуд и т.п.) или изделий, состоящих например, из корпуса и крышки. Метод позволяет также оценить герметичность различных соединений, например корпуса и крышки.

Отличие метода бароаквариума от метода на спад давления заключается в следующем:

- метод бароаквариума позволяет оценить герметичность изделия в целом, а также определить конкретное дефектное место в конструкции;

- метод бароаквариума предназначен для проверки изделий, допускающих соприкосновение с водой;

- метод позволяет проверять изделия относительно небольших размеров, позволяющих помещать их в гидробак определенных габаритов.

Принцип проверки методом бароаквариума заключается в следующем:

- изделие испытуемое заполняют контрольным веществом (газом) под избыточным давлением, указанным в технической (технологической или конструкторской) документации на изделие;

- изделие погружают в индикаторную жидкость (вода), над поверхностью которой создается разряжение или сохраняется атмосферное давление;

- производят визуальный контроль изделия в индикаторной жидкости. Нарушение герметичности изделия, в том числе конкретные места нарушения, определяют по выделяющимся пузырькам в местах утечки контрольного вещества.

Схема пневмогидравлическая общая стенда проверки герметичности ЭС методом бароаквариума приведена в соответствии с рисунком 5.17. Перечень элементов приведен в таблице 5.4.

Проверку герметичности ЭС методом бароаквариума проводят в следующем порядке:

- собирают стенд в соответствии с рисунком 5.17 и таблицей 5.4;

- устанавливают в изделии испытуемом А1 с помощью ручного насоса Н1 избыточное давление воздуха, указанное в технической документации на изделие. Давление контролируют по манометру МН1;

- помещают изделие А1 в гидробак Б1, так чтобы индикаторная жидкость перекрывала верхнюю поверхность изделия слоем от 10 до 20 см;

- производят визуальный осмотр изделия с целью выявления мест нарушения герметичности по выделяющимся пузырькам воздуха. Изделие считают герметичным, если по истечении времени испытания, необходимого для осмотра изделия, но не менее 5 минут, не наблюдают выделения пузырьков воздуха;

- извлекают изделие из гидробака, обтирают сухой салфеткой и плавно откручивают фланец, через который подавался воздух от насоса;

- разбирают стенд, приводят все оборудование в исходное состояние.

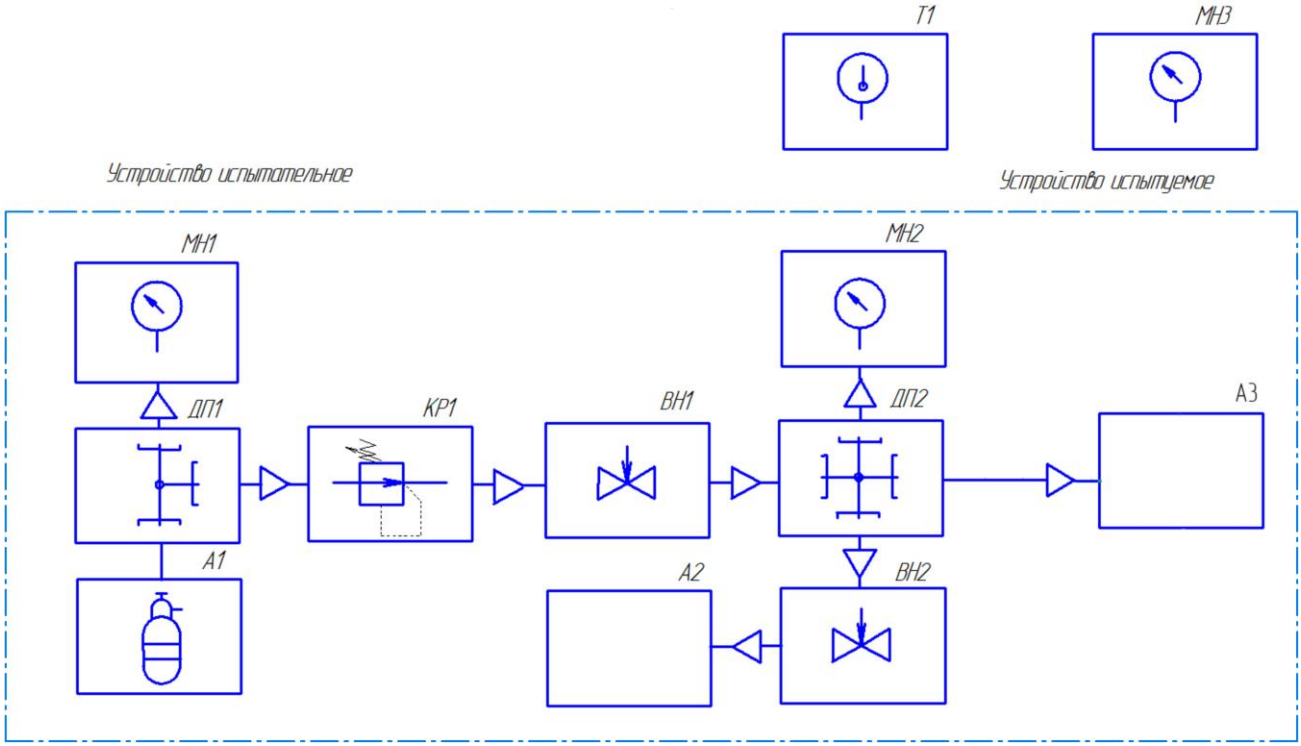


Рисунок 5.16 – Стенд проверки герметичности методом на спад давления. Схема пневматическая общая

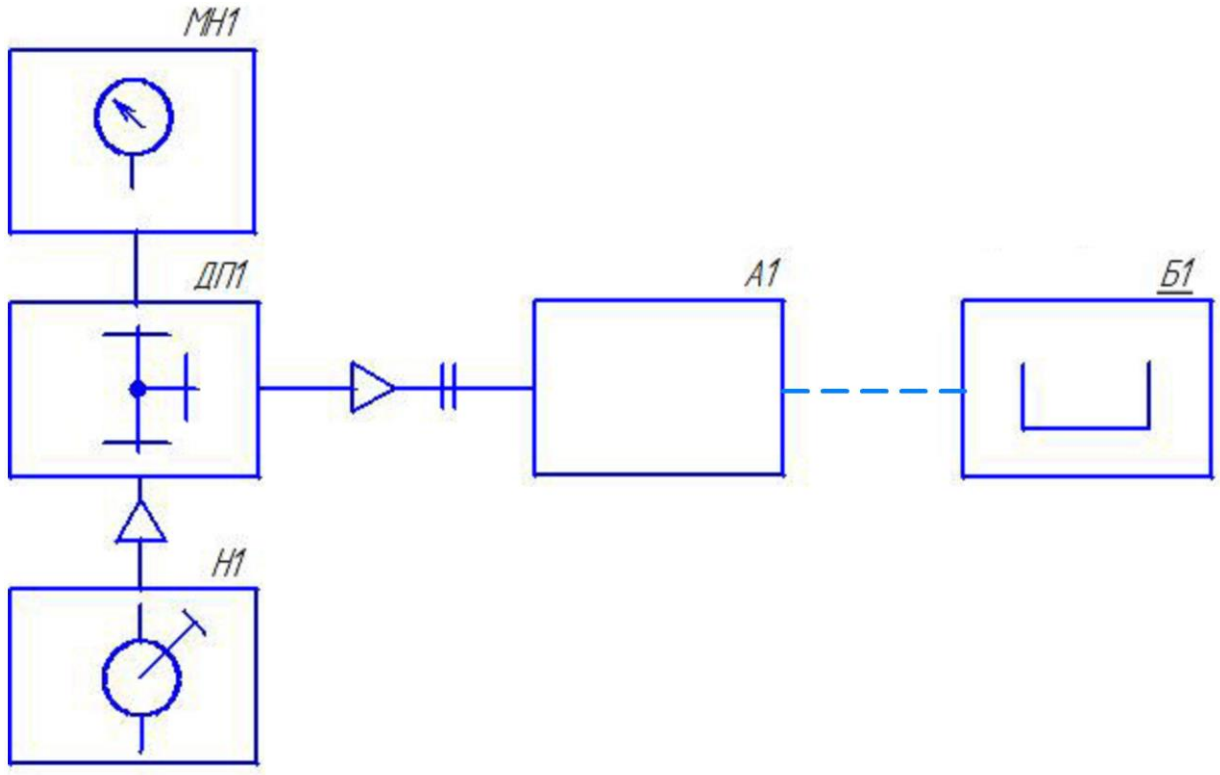


Рисунок 5.17 – Стенд проверки герметичности РЭС методом бароаквариума. Схема пневмогидравлическая общая

Таблица 5.3 – Стенд проверки герметичности ЭС методом на спад давления. Перечень элементов

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
А1	Баллон с газом-носителем	1	
А2	Вентиляция вытяжная	1	
А3	Изделие	1	Испытуемое
ВН1,ВН2	Вентиль регулируемый	2	
ДП1, ДП2	Делитель потока	2	
КР1	Клапан редукционный	1	
МН1, МН2	Манометр	2	
МН3	Барометр		
Т1	Термометр	1	

Таблица 5.3 – Стенд проверки герметичности РЭС методом бароаквариума. Перечень элементов

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
А1	Изделие	1	Испытуемое
Б1	Гидробак	1	
ДП1	Делитель потока	1	
МН1	Манометр	1	
Н1	Насос ручной	1	

Метод щупа

Принцип проверки методом щупа заключается в следующем:

- испытуемое изделие заполняют под некоторым избыточным давлением гелием или галогенным веществом;

- с помощью выносного щупа гелиевого или галогенного прибора – течеискателя последовательно проводят проверку всех предполагаемых мест негерметичности изделия, наличие которых фиксируют по показаниям индикаторного прибора течеискателя.

Данный метод является самым точным, т.к. определение негерметичности изделия происходит на атомарном уровне. Однако этот метод является и самым дорогим, стоимость которого определяется стоимостью течеискателя и дорогостящего расходного материала (газа).

Проверка герметичности изделий с помощью гелиевых течеискателей нашла широкое применение для проверки микросборок и микросхем, которые зачастую заполняются гелием при изготовлении с целью создания во внутреннем объеме некоторого избыточного давления для повышения влагостойкости.

Галогенные течеискатели применяют для проверки высоковольтных и волноводных устройств СВЧ диапазона, которые при заполнении им данных

изделий также создают во внутреннем объеме некоторое избыточное давление, повышающее влагостойкость. Кроме того галогенные вещества дополнительно повышают электрическую прочность изделия, т.к. например галогенное вещество элегаз (SF_6) имеет по сравнению с воздухом более высокую электрическую прочность.

Вопросы для самоконтроля к разделу 5

1 Где содержится влага, оказывающая воздействие на ЭС в процессе производства, хранения и эксплуатации?

2 Чем объясняется наличие влаги в герметичной конструкции ЭС?

3 Какие параметры ЭС зависят от конструкции влагозащиты?

4 Какие дополнительные функции возлагают на влагозащитную конструкцию ЭС?

5 Назовите две основные группы влагозащиты.

6 Назначение монолитных тонкостенных оболочек.

7 Требования, предъявляемые к пленочным покрытиям.

8 Область применения пропитки.

9 Требования к материалам пропитки.

10 Назначение, область применения заливки.

11 В чем различие между корпусной и бескорпусной заливками.

12 Требования к пропиточным материалам.

13 Назначение, область применения опрессовки.

14 Назначение, область применения обвалакивания.

15 Какие преимущества по сравнению с монолитными оболочками дают полые .

16 Объясните принцип ограниченно-разъемных конструкций.

17 Назначение, область применения полых разъемных конструкций.

18 В чем различие уплотнений принудительных и самоуплотняющихся.

19 Опишите принцип определения герметичности ЭС методом на спад давления.

20 Опишите принцип определения герметичности ЭС методом бароаквариума.

6 Технология производства печатных плат

6.1 Общие сведения

В настоящее время печатные платы широко применяются практически во всех отраслях промышленности, а их номенклатура и объемы производства постоянно возрастают.

В соответствии с ГОСТ Р 53386 – 2009 (Платы печатные. Термины и определения), *печатной платой* называют изделие, сосотящее из одного или двух проводящих рисунков, расположенных на поверхности одного основания, или из системы проводящих рисунков, расположенных в объеме и на поверхности основания, соединенных между собой в соответствии с электрической схемой печатного узла, предназначенное для электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нем изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий.

Из приведенного определения видно, что печатная плата может быть односторонней, двухсторонней и многослойной, но во всех случаях она представляет собой изоляционное основание на одной или обеих сторонах которого расположены токонесущие полоски металла, называемые *печатными проводниками.*

В настоящее время для удобства описания конструкции и технологии изготовления печатных плат, изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические изделия, устанавливаемые на печатную плату, принято именовать *электрорадиоизделиями* (далее по тексту – ЭРИ).

Согласно ГОСТ 23752-79 (Платы печатные. Общие технические требования) к печатным платам предъявляют большую номенклатуру требований по точности рисунка, по величине сопротивления изоляции, по механическим параметрам и др. Требования к качеству изготовления и приемке оговорены в ГОСТ Р 55490 – 2013 (Платы печатные. Общие технические требования к изготовлению и приемке).

В данном разделе учебного пособия рассмотрена технология производства следующих основных типов печатных плат:

- *односторонняя печатная плата* (далее по тексту – ОПП) – печатная плата, на одной стороне основания которой выполнен проводящий рисунок;
- *двусторонняя печатная плата* (далее по тексту – ДПП) – печатная плата, на обеих сторонах основания которой выполнены проводящие рисунки;
- *многослойная печатная плата* (далее по тексту – МПП) – печатная плата, состоящая из чередующихся проводящих и непроводящих рисунков, соединённых с соответствии с электрической схемой печатного узла.

Сегодня при производстве печатных плат применяют следующие основные технологические процессы изготовления:

- субтрактивный;
- полуаддитивный;
- аддитивный.

Указанные процессы в свою очередь подразделяются на ряд способов. В данном учебном пособии рассмотрены некоторые наиболее часто применяемые технологические процессы изготовления печатных плат.

Для изготовления печатных плат по любому из вышеназванных процессов применяют расходные материалы: базовые и технологические.

К базовым материалам относят материалы, из которых непосредственно изготавливают *основание печатные платы* и *изоляционные прокладочные материалы*, предназначенные для склеивания слоев в МПП, а также материалы, применяемые для защиты поверхности печатных проводников и печатной платы в целом от воздействия внешних дестабилизирующих факторов.

К технологическим материалам, используемым в производстве печатных плат, относят материалы не входящие в массу печатной платы, но принимающие непосредственное участие в технологии изготовления: *сухие пленочные фоторезисты* (далее по тексту – СПФ), электролиты, травильные растворы и различные химические вещества, применяемые для очистки и подготовки поверхностей печатной платы (фольги или диэлектрика) и др.

В качестве материала, используемого для основания печатной платы, применяют фольгированные (с одной или двух сторон) и нефольгированные диэлектрики. Фольгированные диэлектрики выпускают с фольгой толщиной 0,035 и 0,050 мм, а для гибких печатных плат и МПП с толщиной 0,018мм.

В настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью выпускается большой ассортимент фольгированных и нефольгированных листовых материалов для изготовления печатных плат.

Примеры некоторых отечественных материалов для изготовления низкочастотных печатных плат приведены в таблицах 6.1.

В таблице 6.2 приведен ряд отечественных материалов для изготовления печатных плат СВЧ диапазона.

Таблица 6.1 – Материалы для низкочастотных печатных плат

Марка материла	Толщина, мм	Характеристика материала	Нормативный документ
ГФ-1-35Г ГФ-1-50Г ГФ-2-35Г ГФ-2-35Г	1,0 – 3,0	Гетинакс, облицованный с одной (цифра 1) или двух (цифра 2) сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 35 или 50 мкм	ГОСТ 10316-78
СФ-1-35Г СФ-1-50Г СФ-2-35Г СФ-2-50Г	0,5 – 3,0	Стеклотекстолит, облицованный с одной (цифра 1) или двух (цифра 2) сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 35 или 50 мкм	ГОСТ 10316-78
СТ	1,5 – 30,0	Стеклотекстолит нефольгированный общего применения	ГОСТ 12652-74

Продолжение таблицы 6.1

Марка материла	Толщина, мм	Характеристика материала	Нормативный документ
СТ-М	0.5 – 50,0	Стеклотекстолит нефольгированный с повышенными физико-механическими свойствами	ГОСТ 12652-74
СТЭФ		Стеклотекстолит нефольгированный с высокой стабильностью электрических свойств при повышенной влажности	
СТФ-1-35 СТФ-2-35 СТФ-1-18 СТФ-2-18	0,08 – 3,00	Стеклотекстолит теплостойкий фольгированный с гальваностойкой фольгой толщиной 35 или 18 мкм	ТУ16-503.161-83

Таблица 6.2 – Материалы для печатных плат СВЧ диапазона

Марка материала	Толщина, мм	Характеристика материала	Нормативный документ
ФФ-4-0,035 ФФ-4-0,050	1,5 – 5,0	Листы из фторопласта-4 по ГОСТ 10007-80 неармированные, облицованные с двух сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 35 или 50 мкм	ГОСТ 21000-81
ФАФ-4Д-0,035 ФАФ-4Д-0,050	0,5 – 5,0	Листы изготовленные прессованием слоев лакоткани на основе фторопласта-4Д по ТУ 301-05-422-89, облицованные с двух сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 35 или 50 мкм	
ФЛАН	1 - 5	Листы на основе наполненных простых полиэфиров, облицованные с двух сторон медной электролитической гальваностойкой фольгой толщиной 35 мкм	ТУ 16-503.148-80
Прастина Ф-4	2 – 60	Пластина (нефольгированная) из фторопласта-4 по ГОСТ 10007-80 или фторопласта-4А по ТУ 6-05-1999-85	ТУ 6-05-810-88

6.2 Субтрактивный процесс изготовления печатных плат

Субтрактивный процесс изготовления печатных плат – процесс изготовления проводящего рисунка печатной платы избирательным удалением участков проводникового материала.

Таким образом, исходя из приведенного определения способа, исходным материалом при субтрактивном способе изготовления служит фольгированный с одной или двух сторон диэлектрик, а проводящий рисунок получают травлением медной фольги с участков, на которых не должно быть проводников.

Участки печатной платы, на которых не должно быть проводников в технологии изготовления печатных плат называют *пробельными*.

Субтрактивный процесс изготовления печатных плат в ряде источников информации называют *химическим процессом.*

Субтрактивный процесс может выполняться одним из двух способов: *негативным* или *позитивным.*

Для удобства и наглядности рассмотрения указанных способов, укрупненные этапы их изготовления приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Субтрактивный процесс изготовления печатных плат

Негативный способ		Позитивный способ	
Этап	Операция	Этап	Операция
1	Изготовление заготовки из фольгированного диэлектрика	1	Изготовление заготовки из фольгированного диэлектрика
2	Подготовка поверхности заготовки (фольги)	2	Подготовка поверхности заготовки (фольги)
3	Получение защитного рельефа на проводниках	3	Получение защитного рельефа на пробельных участках
4	Травление меди с пробельных участков	4	Нанесение гальванического покрытия на проводниках
5	Удаление защитного рельефа с проводников	5	Удаление защитного рельефа с пробельных участков
6	Сверление или штамповка отверстий	6	Травление меди с пробельных участков
7	Обработка контура	7	Сверление или штамповка отверстий
8	Маркировка	8	Обработка контура
9	Нанесение защитного покрытия	9	Маркировка
10	Консервация	10	Консервация

Рассмотрим подробнее негативный способ.

На первом этапе изготавливается заготовка для одной платы или групповая заготовка, предназначенная для изготовления нескольких одинаковых, небольших по размеру, печатных плат.

Пример заготовки в соответствии с рисунком 6.1.

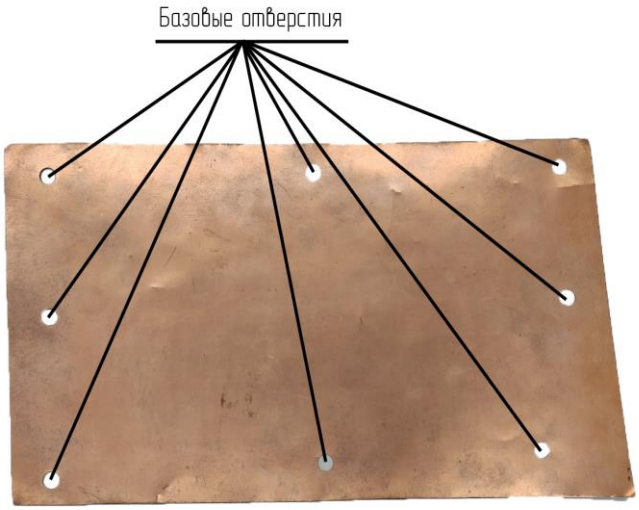


Рисунок 6.1 – Заготовка печатной платы с базовыми отверстиями

Заготовка изготавливается с технологическим полем, предназначенным для:

- закрепления платы в приспособлениях;
- расположения базовых (фиксирующих) отверстий, предназначенных для точного совмещения фотошаблона рисунка печатной платы на заготовке при экспонировании, для совмещении с программой сверловки на станках с программным управлением, а также для совмещения слоев МПП при прессовании;
- расположения тест-купона, представляющего собой элемент (часть) печатного монтажа прошедший совместно с печатной платой все технологические операции и отделяемый от печатной платы для проведения испытаний по оценке качества изготовления платы.
- расположения элементов, необходимых для контроля и обеспечения технологического изготовления печатной платы;
- разделения групповой заготовки печатной платы на отдельные печатные платы на конечной стадии обработки.

Технологическое поле располагается по периметру заготовки печатной платы и между печатными платами при групповой заготовке. Размер технологического поля зависит от технологии конкретного предприятия и в основном составляет не менее 30 мм.

После изготовления печатной платы технологическое поле удаляется механической обработкой на этапе обработки контура.

Вид технологического поля показан в соответствии с рисунками 6.2 и 6.3.

Изготовление заготовки из исходного листа фольгированного диэлектрика выполняют одним из механических способов: гильотинированием, фрезерованием, штамповкой, резкой ножницами, скрайбированием.

Количество базовых отверстий, их диаметры и размеры взаимного расположения зависят от точности изготовления печатной платы.

На втором этапе подготовка поверхности заготовки заключается в химико-механической подготовке поверхности медной фольги.

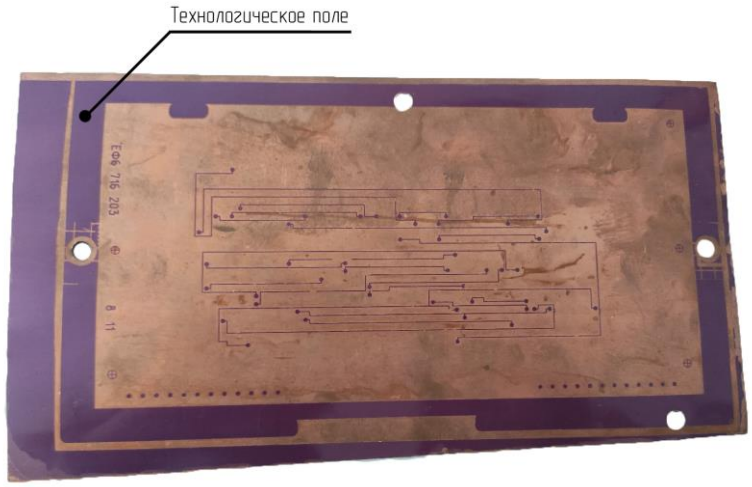


Рисунок 6.2 – Заготовка печатной платы с технологическим полем, базовыми отверстиями и защитным рельефом на проводниках

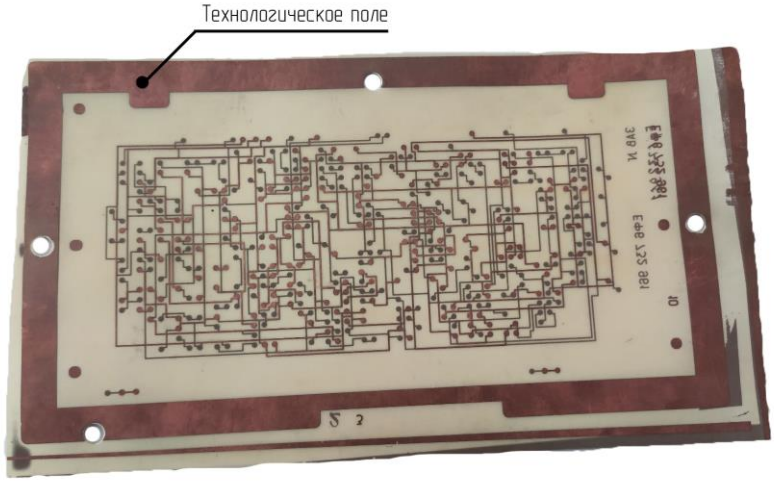


Рисунок 6.3 – Печатная плата перед удалением технологического поля

На третьем этапе изготовления печатной платы на поверхность платы наносят защитный рельеф на проводники. Защитный рельеф должен быть стойким к воздействию травильных растворов. В настоящее время на большинстве предприятий в качестве защитного рельефа применяют сухие пленочные фоторезисты, которыми первоначально покрывают всю поверхность платы в соответствии с рисунком 6.4.

Далее на печатную плату с нанесенным пленочным фоторезитом сверху накладывают фотошаблон печатной платы, представляющий собой негативное изображение проводящего рисунка печатной платы, т.е. на фотошаблоне пробельные места (места, где на печатной плате не должно быть проводников) будут черными, а проводники – оптически прозрачными. Именно по названию

применяемого негативного фотошаблона и получил название негативный способ.

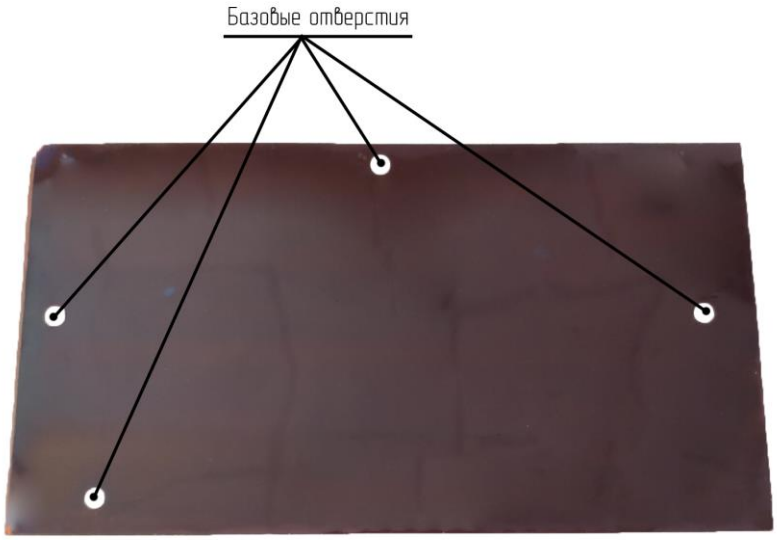


Рисунок 6.4 – Заготовка печатной платы, покрытая пленочным фоторезистом

Пример негативного фотошаблона в соответствии с рисунком 6.5.

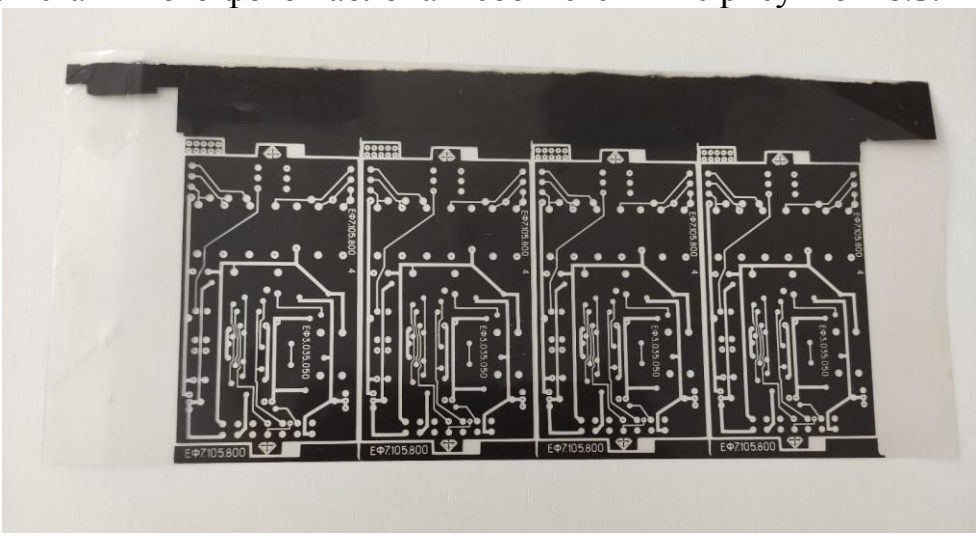


Рисунок 6.5 – Пример негативного фотошаблона

После закрепления на заготовке фотошаблона выполняют экспонирование ультрафиолетовой лампой. Ультрафиолетовый поток лучей, проходя через оптически прозрачные участки фотошаблона, полимеризуют фоторезист на поверхности проводников образуя тем самым защитный рельеф. Неполимеризованный фоторезист на пробельных участках после экспонирования смывают.

На четвертом этапе выполняют операцию травления меди с пробельных, незащищенных участков печатной платы, в результате чего и получается проводящий рисунок, пример которого в соответствии с рисунком 6.3.

После вытравливания меди с пробельных участков следует пятый этап, на котором с проводников удаляют защитный рельеф – полимеризованный фоторезист, после чего следуют этап сверления или штамповки отверстий для установки ЭРИ и этап обработки контура, заключающийся в механическом удалении технологического поля.

На следующем восьмом этапе выполняют маркировку печатной платы в соответствии с требованиями конструкторской документации на данную печатную плату.

На девятом этапе выполняют нанесение защитного покрытия на проводники путем гальванического покрытия их сплавом олово-свинец, который одновременно является защитой медных проводников от воздействия влаги и припоем для выполнения последующих операций монтажа на платы ЭРИ. При изготовлении печатных плат для широковещательной аппаратуры, с целью снижения стоимости изготовления, в качестве защитного покрытия на проводниках применяют лакокрасочное покрытие таким образом, чтобы открытыми оставались только контактные площадки проводников, которые затем облуживают припоем перед выполнением монтажных операций. На некоторых предприятиях защиту проводников выполняют пассивированием

На последнем десятом этапе выполняют консервацию печатной платы.. Данный этап выполняют в тех случаях, если печатную плату оставляют на хранение (до этапа монтажа) на некоторое продолжительное время.

Пример готовой печатной платы приведен в соответствии с рисунком 6.6.

Пример готовой печатной платы с установленными многоконтактным соединителем типа ГРПП и держателем в соответствии с рисунком 6.7.

Рассмотрим позитивный способ изготовления печатной платы субтрактивного процесса.

На первых двух этапах изготовление заготовки и подготовка поверхности выполняются аналогично негативному способу.

Далее на третьем этапе на поверхность платы наносят защитный рельеф на пробельные участки, т.е. на участки где необходимо вытравить медную фольгу. В качестве защитного рельефа также как и при негативном способе применяют сухие пленочные фоторезисты, которыми первоначально покрывают всю поверхность платы в соответствии с рисунком 6.4.

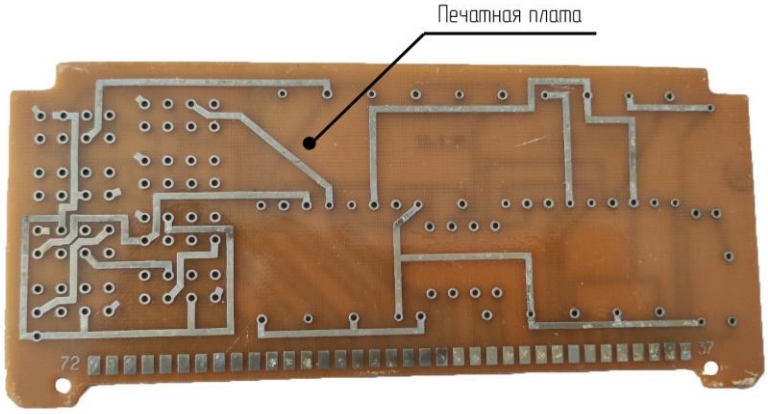


Рисунок 6.6 – Готовая печатная плата

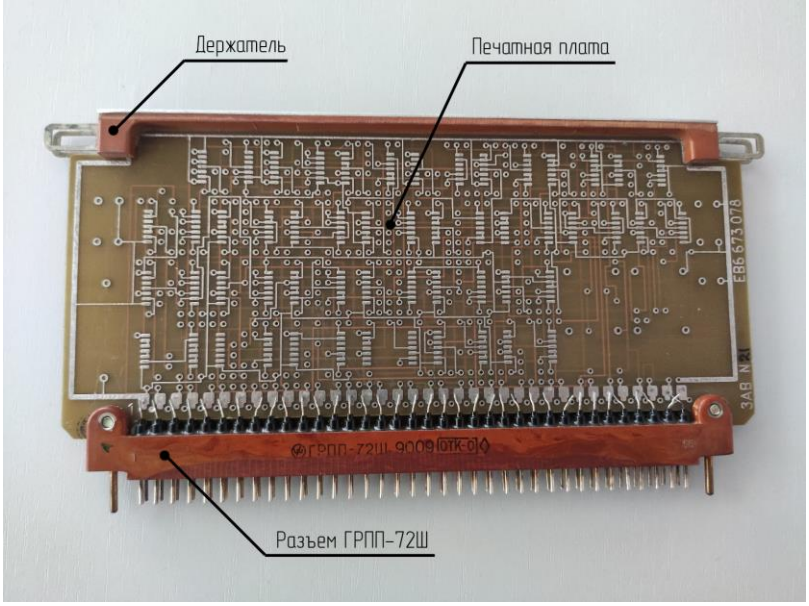


Рисунок 6.7 – Печатная плата с установленными соединителем и держателем

Далее на печатную плату с нанесенным пленочным фоторезитом сверху накладывают фотошаблон печатной платы, представляющий собой позитивное изображение проводящего рисунка печатной платы, т.е. на фотошаблоне пробельные места (места, где на печатной плате не должно быть проводников) будут оптически прозрачными, а проводники – черными. Именно по названию применяемого позитивного фотошаблона и получил название позитивный способ.

После закрепления на заготовке фотошаблона, выполняют экспонирование ультрафиолетовой лампой. Ультрафиолетовый поток лучей, проходя через оптически прозрачные участки фотошаблона, полимеризуют фоторезист на поверхности пробельных участков образуя тем самым защитный рельеф. Неполимеризованный фоторезист на проводниках после экспонирования смывают.

На четвертом этапе выполняют операцию гальванического покрытия проводников, например сплавом олово-свинец для низкочастотных плат или серебром для плат диапазона СВЧ, после чего следует пятый этап, на котором смывают полимеризованный фоторезист с пробельных участков.

На шестом этапе выполняют операцию травления меди с пробельных участков печатной платы, в результате чего и получается проводящий рисунок.

Далее следуют операции сверления или штамповки отверстий, обработки контура, маркировки и консервации.

При изготовлении печатной платы позитивным способом, в технологии отсутствует операция нанесения защитного покрытия, т.к. защита проводников выполняется уже на четвертом этапе изготовления.

Особенностью субтрактивного процесса при негативном и позитивном способе является получение отверстий для установки ЭРИ без металлизации, при этом пайка ЭРИ осуществляется непосредственно на контактные площадки печатного проводника.

6.3 Полуаддитивный процесс изготовления печатных плат

Полуаддитивный процесс изготовления печатных плат – процесс изготовления проводящего рисунка печатной платы и металлизации сквозных отверстий предварительным химическим осаждением проводникового материала на диэлектрическое основание, электрохимическим осаждением на необходимых участках и последующим травлением проводникового материала с непроводящего рисунка печатной платы.

Таким образом, исходя из приведенного определения способа, исходным материалом при полуаддитивном способе изготовления служит нефольгированный диэлектрик, а проводящий рисунок получают травлением проводникового материала (полученного предварительным химическим осаждением) с пробельных участков.

Полуаддитивный процесс изготовления печатных плат в ряде источников информации называют *электрохимическим процессом*.

Укрупненные этапы изготовления печатной платы полуаддитивным процессом приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Полуаддитивный процесс изготовления печатных плат

Этап	Операция
1	Изготовление заготовки из нефольгированного диэлектрика
2	Сверление или штамповка отверстий, подлежащих металлизации
3	Подготовка поверхности заготовки (диэлектрика)
4	Химическое меднение всей поверхности заготовки (включая поверхность отверстий) с последующим усилением меди гальваническим меднением
5	Нанесение защитного рельефа на пробельные участки
6	Гальваническое меднение участков с проводниками и поверхности отверстий
7	Гальваническое покрытие сплавом олово-свинец участков с проводниками и поверхности отверстий
8	Удаление защитного рельефа с пробельных участков
9	Травление меди с пробельных участков
10	Обработка контура
11	Маркировка
12	Консервация

На первом этапе изготовление заготовки (с технологическим полем) для одной платы или групповой заготовки, предназначенной для изготовления нескольких одинаковых, небольших по размеру, печатных плат ничем не отличается от изготовления заготовки приведенной выше при описании субтрактивного процесса.

На втором этапе в заготовке методом штамповки или сверления изготавливают отверстия, подлежащие металлизации.

На третьем этапе подготовка поверхности диэлектрика заключается в придании поверхности диэлектрика гидрофильности и образовании некоторой шероховатости, обеспечивающего достаточную адгезию с последующим металлизированным слоем меди.

Подготовку выполняют, например, по следующей технологии:

- обезжиривание поверхности;
- набухание в водном растворе диметилформамида с последующей промывкой;
- травление в растворе серной и хромовой кислот;
- промывка, нейтрализация в растворе NaOH (от 5 до 10 %), повторная промывка, нейтрализация в растворе HCl (от 5 до 10 %), промывка.

Далее на четвертом этапе выполняют химическое меднение всей поверхности заготовки с последующим усилением меди по всей поверхности заготовки гальваническим меднением. В результате вся поверхность заготовки, включая и отверстия, подлежащие металлизации, получается покрытой тонким слоем меди толщиной от 5 до 7 мкм.

На пятом этапе выполняют нанесение защитного рельефа на пробельные участки с помощью позитивного фотошаблона аналогично позитивному способу субтрактивного процесса.

На шестом этапе выполняют операцию основного гальванического меднения проводников и отверстий печатной платы, в результате чего толщина меди получается около 25 мкм.

После получения достаточного по толщине медного покрытия, следует седьмой этап покрытия поверхности проводников и отверстий мпеталлорезистом – сплавом олово-свинец.

Далее следуют этапы 8 – 12, т.е. удаление защитного рельефа с пробельных участков, травление меди с пробельных участков, обработка контура, маркировка и консервация. Технология выполнения данных этапов аналогична субтрактивному процессу.

В результате описанного полуаддититвного процесса получается печатная плата с металлизированными отверстиям для монтажа ЭРИ.

6.4 Аддитивный процесс изготовления печатных плат

Аддитивный процесс изготовления печатных плат – процесс изготовления проводящего рисунка печатной платы избирательным осаждением проводникового материала на диэлектрическое основание печатной платы.

Таким образом, исходя из приведенного определения способа, исходным материалом при аддитивном способе изготовления служит нефольгированный диэлектрик, а проводящий рисунок и металлизацию отверстий получают осаждением меди толщиной от 25 до 30 мкм химическим методом.

Укрупненные этапы изготовления печатной платы аддитивным процессом приведены в таблице 6.5.

На первом этапе изготовление заготовки (с технологическим полем) для одной платы или групповой заготовки, предназначенной для изготовления нескольких одинаковых, небольших по размеру, печатных плат ничем не отличается от изготовления заготовки приведенной выше при описании субтрактивного процесса.

На втором этапе в заготовке методом штамповки или сверления изготавливают отверстия, подлежащие металлизации.

На третьем этапе подготовка поверхности диэлектрика заключается в придании поверхности диэлектрика гидрофильности и образовании некоторой шероховатости, обеспечивающего достаточную адгезию с последующим металлизированным слоем меди аналогично полуаддитивнлму процессу.

Далее на четвертом этапе защитный рельеф на пробельные участки наносят аналогично субтрактивному процессу.

На пятом этапе выполняют предварительное и окончательное химическое меднение участков с проводниками и поверхности отверстий. Предварительное меднение обычно выполняют в тартратном растворе в течение от 15 до 20 мин. После предварительного меднения выполняют термообработку тонкого слоя меди в течение до двух часов. Окончательное меднение выполняют в трилонатном или тартратном растворе в течение, в результате чего получают проводники толщиной от 25 до 35 мкм.

На шестом этапе выполняют операцию гальванического покрытия проводников и поверхности отверстий сплавом олово-свинец или серебром.

Далее следуют этапы 7 – 10, т.е. удаление защитного рельефа с пробельных участков, обработка контура, маркировка и консервация. Технология выполнения данных этапов аналогична субтрактивному процессу.

В результате описанного полуаддититвного процесса получается печатная плата с металлизированными отверстиям для монтажа ЭРИ.

Таблица 6.5 – Аддитивный процесс изготовления печатных плат

Этап	Операция
1	Изготовление заготовки из нефольгированного диэлектрика
2	Сверление или штамповка отверстий, подлежащих металлизации
3	Подготовка поверхности заготовки (диэлектрика)
4	Нанесение защитного рельефа на пробельные участки
5	Химическое меднение участков с проводниками и поверхности отверстий (предварительное и окончательное)
6	Гальваническое покрытие сплавом олово-свинец (или серебром) участков с проводниками и поверхности отверстий
7	Удаление защитного рельефа с пробельных участков
8	Обработка контура
9	Маркировка
10	Консервация

6.5 Комбинированный процесс изготовления печатных плат

Комбинированный процесс изготовления печатных плат представляет собой сочетание субтрактивного и полуаддитивного процессов.

Исходным материалом служит фольгированный с двух сторон диэлектрик.

Проводящий рисунок печатной платы получают вытравливанием меди (как в субтрактивном процессе), а металлизацию отверстий выполняют химическим меднением с последующим электрохимическим наращиванием слоя меди (как в полуаддитивном процессе).

В зависимости от метода защиты проводящего рисунка при вытравливании меди, комбинированный способ также как и субтрактивный может выполняться в двух вариантах: негативном и позитивном. Однако в настоящее время на предприятиях в основном используют комбинированный позитивный способ, который имеет существенные преимущества по сравнению с негативным способом.

При производстве плат комбинированным позитивным способом для МПП очень часто применяют фольгированные диэлектрики с толщиной фольги 18 мкм, т.к. окончательный формирование рисунка печатных проводников происходит, как при аддитивном способе гальваническим осаждением меди.

Укрупненные этапы изготовления печатной платы комбинированным процессом приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Комбинированный процесс изготовления печатных плат

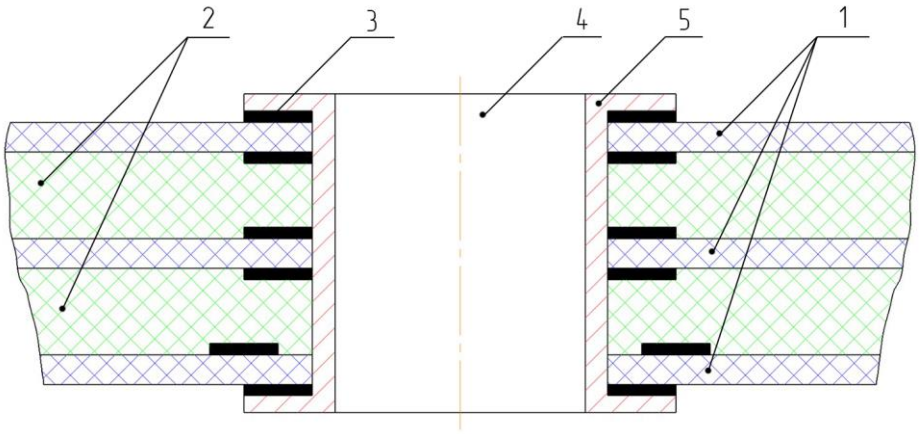
Этап	Операция
1	Изготовление заготовки из фольгированного диэлектрика
2	Сверление или штамповка отверстий, подлежащих металлизации
3	Подготовка поверхности фольги и отверстий, подлежащих металлизации
4	Тонкая химическая металлизация меди до 1 мкм
5	Предварительная тонкая гальваническая металлизация меди до 6 мкм
6	Получение защитного рельефа на пробельных участках
7	Основная гальваническая металлизация меди до 25 мкм в нутрии отверстий
8	Нанесение гальванического покрытия (сплавом олово-свинец) на проводниках и в отверстиях
9	Удаление защитного рельефа с пробельных участков
10	Травление меди с пробельных участков
11	Обработка контура
12	Маркировка и консервация

Технология выполнения отдельных операций при комбинированном процессе аналогична технологии выполнения соответствующих операций при выполнении субтрактивного и полуаддитивного процессов.

6.6 Технология изготовления многослойных печатных плат

Широкое применение микросборок, интегральных микросхем и изделий современной электроники привело к тому, что для их размещения на печатной плате, потребовалось резкое увеличение числа коммутационных связей между указанными элементами, что в свою очередь оказалось практически невыполнимым на односторонней или двусторонней печатной плате. Таким образом, проектировщики и технологи печатных плат пришли к выводу о необходимости разработки технологии МПП, в которых коммутация между выводами электрорадиоэлементов может быть выполнена в различных, изолированных друг от друга слоях многослойной печатной платы через металлизированные сквозные отверстия. В ряде источников информации данный метод изготовления МПП плат получил название «метод сквозной металлизации».

Структура МПП в разрезе имеет вид в соответствии с рисунком 6.8, где в качестве примера показана МПП их трех слоев.



1 – двусторонние печатные платы
2 – прокладочная стеклоткань
3 – проводники двусторонних печатных плат
4 – сквозное отверстие
5 – металлизация сквозного отверстия

Рисунок 6.8 – Структура МПП

Укрупненный технологический процесс изготовления МПП состоит из следующих основных этапов, приведенных в таблице 6.7.

На первом этапе изготавливают отдельные печатные платы (слои) по комбинированному позитивному процессу со следующими существенными отличиями:

- для точного совмещения отдельных слоев в технологическом поле заготовок увеличивают число базовых (фиксирующих) отверстий, количество которых может достигать десяти;

- для будущих наружных плат (слоев) рисунок проводников не изготавливают, т.к. он будет изготавливаться после этапа прессования;

- отдельные платы (слои) изготавливают на материале толщиной в районе 0,1 мм с толщиной фольги 18 мкм.

На втором этапе выполняют операцию спрессовывания отдельных плат (слоев) в специальных приспособлениях.

При прессовании между отдельными платами (слоями) размещают слои прокладочной стеклолакоткани (называемой перепрегом), пропитанной эпоксидной смолой. Суммарная толщина прокладочной стеклолакоткани между каждым из слоев обычно в три раза превышают толщину плат.

При прессовании эпоксидная смола выдавливается из стеклолакоткани и заполняет переходные отверстия отдельных плат, защищая тем самым их металлическое покрытие от химического воздействия при последующих операциях.

Таблица 6.7 – Процесс изготовление МПП

Этап	Операция
1	Изготовление отдельных печатных плат (слоев) МПП по комбинированному позитивному процессу кроме этапов 11 и 12 таблицы 6.6
2	Спрессовывание готовых плат
3	Сверление сквозных отверстий
4	Подготовка поверхности фольги на внешних слоях и поверхности сквозных отверстий
5	Тонкая химическая металлизация меди и предварительная тонкая гальваническая металлизация меди аналогично комбинированному процессу
6	Получение защитного рельефа на пробельных участках
7	Основная гальваническая металлизация меди аналогично комбинированному процессу
8	Нанесение гальванического покрытия (сплавом олово-свинец) на проводниках и в отверстиях
9	Удаление защитного рельефа с пробельных участков
10	Обработка контура
11	Маркировка
12	Консервация

После прессования в полученной заготовке МПП выполняют сверление сквозных отверстий на станках с программным управлением, в результате чего сквозные отверстия будут иметь вид в соответствии с рисунком 6.9.

На четвертом этапе подготовку поверхности фольги внешних слоев выполняют аналогично субтрактивному способу.

Подготовку поверхности сквозных отверстий выполняют, например химико-механическим методом в следующей последовательности:

- гидроабразивная обдувка всех отверстий абразивно-водяной пульпой, содержащей электрокорунд зернистостью М40 (размер зерен порошка от 28 до 40 мкм) в отношении с водой 1:4 по массе. Пульпа прогоняется через каждое отверстие под давлением от 0,4 до 0,5 МПа в специальной установке, в результате чего поверхность диэлектрика внутри отверстия разрыхляется;

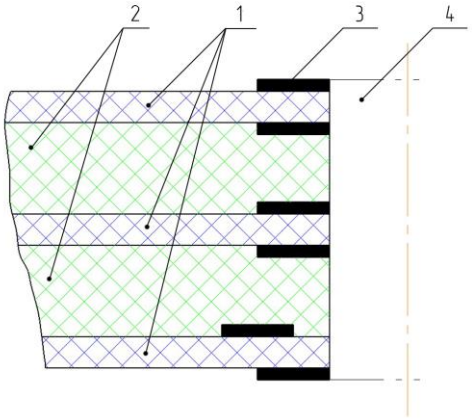
- травление диэлектрика внутри отверстий, например в концентрированной серной кислоте при температуре около 40 °С в течение около 0,7 мин, в результате чего диэлектрик вытравливается на глубину от 15 до 20 мкм;

- тщательная промывка в проточной воде с интенсивным покачиванием заготовки МПП;

- сушка заготовки теплым воздухом;

- вторичная гидроабразивная обдувка для придания поверхности диэлектрика в отверстиях некоторой шероховатости, обеспечивающей хорошую адгезию к последующей химической металлизации меди;

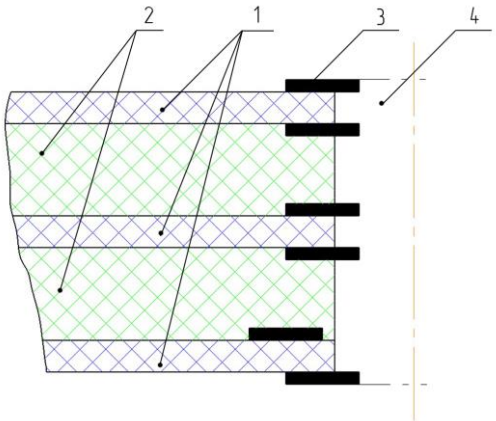
- тщательная промывка в проточной воде с наложением ультразвуковых колебаний с последующей сушкой теплым воздухом.



1 – двусторонние печатные платы
2 – прокладочная стеклоткань
3 – проводники печатных плат
4 – сквозное отверстие

Рисунок 6.9 – Структура сквозного отверстия после сверления

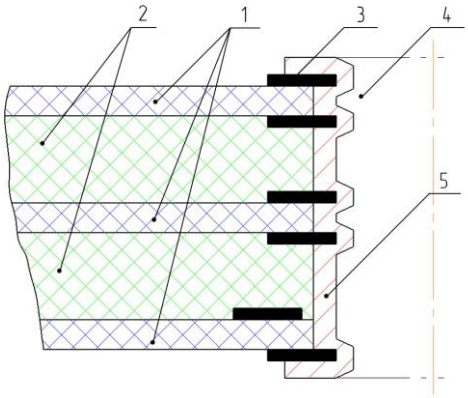
В результате описанной подготовки структура сквозного отверстия будет иметь вид в соответствии с рисунком 6.10.



1 – двусторонние печатные платы 2 – прокладочная стеклоткань
3 – проводники печатных плат 4 – сквозное отверстие

Рисунок 6.10 – Структура сквозного отверстия после обработки его поверхности

После выполнения всех последующих операций изготовления МПП структура металлизированного сквозного отверстия будет иметь вид в соответствии с рисунком 6.11.



1 – двусторонние печатные платы 2 – прокладочная стеклоткань
3 – проводники печатных плат 4 – сквозное отверстие
5 – металлизация сквозного отверстия

Рисунок 6.11 – Структура сквозного отверстия после металлизации

В результате описанной технологии подготовки и металлизации сквозного отверстия существенно повышается качество и прочность соединения металлизации отверстия с проводниками отдельных слоев, в чем можно убедиться, сравнив структуру отверстий приведенных в соответствии с рисунками 6.8 и 6.11.

Вопросы для самоконтроля к разделу 6

1 Назовите основные технологические процессы изготовления печатных плат.

2 Какие материалы используют для изготовления низкочастотных печатных плат.

3 Какие материалы используют для изготовления СВЧ печатных плат.

4 На какие участки печатной платы нанося защитный рельеф в позитивном способе субтрактивного процесса.

5 Назначение технологического поля заготовки печатной платы.

6 От чего зависит количество базовых отверстий.

7 Что представляет собой негативный фотошаблон.

8 Какие материалы применяют для изготовления печатных плат аддитивным процессом.

9 Назначение гидроабразивной обдувки при изготовлении печатных плат.

10 Чем выполняют травление внутренних поверхностей отверстий при изготовлении многослойных печатных плат.

7 Технология изготовления деталей из пластмасс

7.1 Общие сведения

В соответствии с ГОСТ 24888-81 (Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования, термины и определения) пластмассами называют материал, представляющий собой композицию полимера или олигомера с различными ингредиентами, находящуюся при формовании изделий в вязкотекучем или высокоэластичном состоянии, а при эксплуатации – в стеклообразном или кристаллическом состоянии.

В общем случае в состав пластмасс кроме полимера или олигомера могут входить следующие ингредиенты:

- наполнители – вещества, предназначенные для улучшения физико-механических свойств пластмасс, например повышения механической прочности, теплостойкости, уменьшения усадки и др. В качестве наполнителей используют кварцевую или древесную муку, молотую слюду, хлопчатобумажные или стеклянные волокна;

- стабилизаторы – вещества, предназначенные для предотвращения процесса старения пластмасс во время их переработки и эксплуатации под воздействием света, влажности повышенных температур и других дестабилизирующих факторов. В качестве стабилизаторов используют, например ароматические амины, фенолы, сернистые соединения;

- пластификаторы – вещества, предназначенные для повышения пластичности и текучести пластмасс, улучшения морозостойкости. В качестве пластификаторов используют, например дибутилфталат, трикрезилфталат;

- красители – вещества, предназначенные для придания пластмассам определенного цвета. Применяют минеральные и органические красители;

- смазочные вещества – вещества, предназначенные для снижения вязкости пластмасс и предотвращения прилипания материала к стенкам пресс-формы. Применяют стеарин, олеиновую кислоту, трансформаторное масло.

В зависимости от конкретных требований, предъявляемым к деталям из пластмасс, в состав композиции могут входить те или иные ингредиенты или вообще могут быть использованы только полимеры без добавления каких либо ингредиентов.

По технологической классификации различают два класса пластмасс:

- термопластичные пластмассы – пластмассы, которые при нагревании приобретают пластичность, при охлаждении возвращаются в твердое стеклообразное или кристаллическое состояние. Процесс перехода из пластичного состояния в твердое и из твердого в пластичное можно многократно вызывать изменением температуры без изменения свойств пластмассы;

- термореактивные пластмассы – пластмассы, которые при нагревании и давлении на короткий промежуток времени переходят в вязкотекучее состояние, а затем в результате химической реакции необратимо превращается в

твердое нерастворимое и неплавкое состояние. Отходы производства деталей из термореактивных пластмасс повторной переработке не подлежат.

К термопластичным пластмассам относятся: полиэтилен, полипропилен, винипласт, фторопласт, полистирол, целлулоид, капрон и др.

К термореактивным пластмассам относятся: фенопласты, аминопласты; эпоксипласты и др.

Основной компонент пластмасс полимер поставляется в виде гранул, порошков, таблеток, волокон, листовых заготовок.

В общем случае технологический процесс изготовления деталей из пластмасс состоит из следующих этапов:

- смешение полимера и других ингредиентов исходной композиции, которое производится в определенном соотношении, в определенной последовательности, при определенных температурных условиях;
- формообразование деталей;
- технический контроль;
- доработка деталей механическим или другим способом при необходимости;
- декоративная отделка при необходимости;
- технический контроль.

Точность размеров разных элементов одной и той же пластмассовой детали может быть выдержана неодинаково. Она зависит от направления течения расплава при заполнении пресс формы, от разброса усадки пластмассы при отверждении, от точности изготовления формирующих элементов (матриц и знаков), от зазоров между перемещающимися частями пресс-формы и т.д.

В основном различают три группы размеров деталей из пластмасс по признаку их связи с вышеприведенными факторами. Группы размеров пластмассовых деталей показаны в соответствии с рисунком 7.1 и приведены в таблицах 7.1 и 7.2.

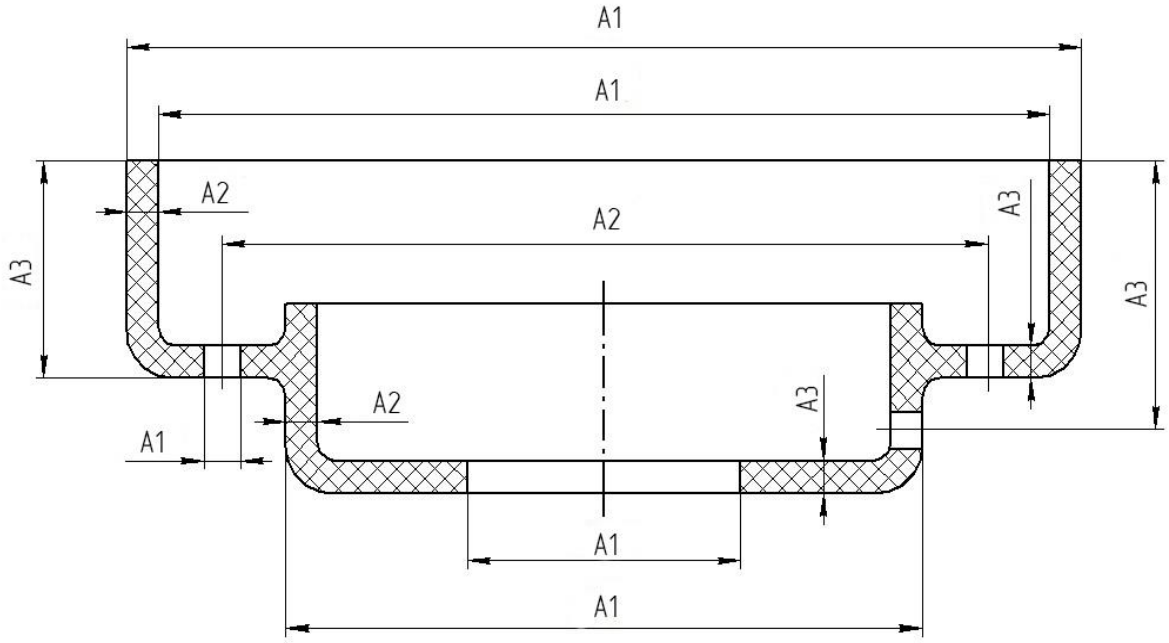


Рисунок 7.1 – Группы размеров пластмассовых деталей

Таблица 7.1 – Точность размеров группы А1

Интервал размеров, мм	Квалитет точности при колебании усадки в %							
	до 0,06	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,00	более 1,00
До 3 включ.	8	9	10	11	12	13	14	15
Св. 3 " 30 "	8	9	10	11	12	13	14	15
" 30 " 120 "	9	10	11	12	13	14	15	16
" 120 " 250 "	10	11	12	13	14	15	16	17
" 250 " 500 "	11	12	13	14	15	16	17	18

Таблица 7.2 – Точность размеров группы А2 и А3

Интервал размеров, мм	Квалитет точности при колебании усадки в %							
	до 0,06	0,1	0,16	0,25	0,4	0,6	1	более 1
До 3 включ.	10	11	12	13	14	15	16	17
Св. 3 " 30 "	9	10	11	12	13	14	15	16
" 30 " 120 "	10	11	12	13	14	15	16	17
" 120 " 250 "	11	12	13	14	15	16	17	18
" 250 " 500 "	12	13	14	15	16	17	18	-

Точность размеров группы А1 зависит только от разброса усадки и точности установки формирующих элементов пресс-формы.

Точность размеров групп А2 и А3 зависит вышеуказанных факторов для А1 и нестабильности положения формирующих элементов пресс-формы, а также из-за зазоров в соединениях пресс-формы.

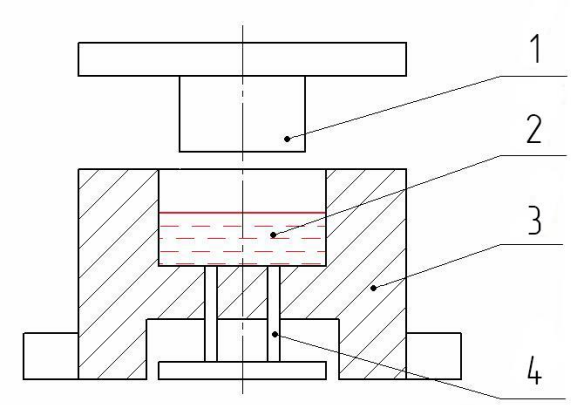
Ниже рассмотрены некоторые основные способы формообразования изделий из пластмасс.

7.2 Компрессионное прессование

Компрессионное прессование в ряде источников информации называют прямым прессованием, т.к. исходный пресс-материал загружается непосредственно в матрицу пресс-формы.

Схематически процесс компрессионного прессования показан в соответствии с рисунками 7.2.

Пресс-форма состоит из пуансона 1, матрицы 3 и выталкивателя 4. Предварительно нагретый пресс-материал 2 загружается в матрицу пресс-формы 3 разогретой до рабочей температуры прессования. Далее следует процесс смыкания пуансона и матрицы, в результате чего образуется требуемая форма дет али в соответствии с рисунком 7.3.



1 – пуансон 2 – прессматериал 3 – матрица 4 - выталкиватель

Рисунок 7.2 – Компрессионное прессование

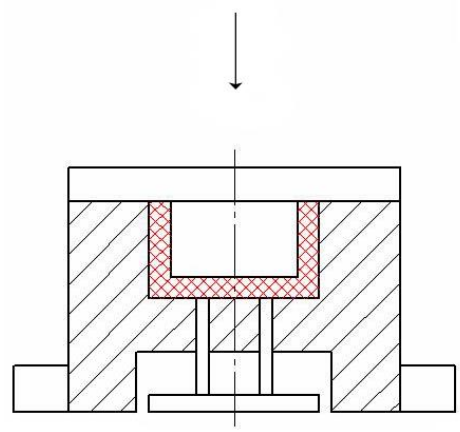


Рисунок 7.3 – Сомкнутые пуансон и матрица пресс-формы

После смыкания пресс-формы пресс-материал выдерживается под давлением при заданной температуре в течение определенного времени и отвердевает. По истечении времени прессования, пресс-форма размыкается и деталь извлекается из пресс-формы при помощи выталкивателя.

Основные параметры процесса:

- температура предварительного нагрева пресс-материала (обычно от 140 до 160 °С);
- температура прессования (обычно от 200 до 220 °С);
- давление прессования (обычно от 10 до 30 МПа);
- время прессования (обычно от 15 до 30 с);

Конкретные значения параметров прессования устанавливаются технологом в зависимости от марки пресс-материала, размеров детали и других технологических факторов.

7.3 Литьевое прессование

Литьевое прессование отличается от компрессионного тем, что исходный пресс-материал загружается не в матрицу пресс-формы, а в специальную загрузочную камеру в соответствии с рисунком 7.4.

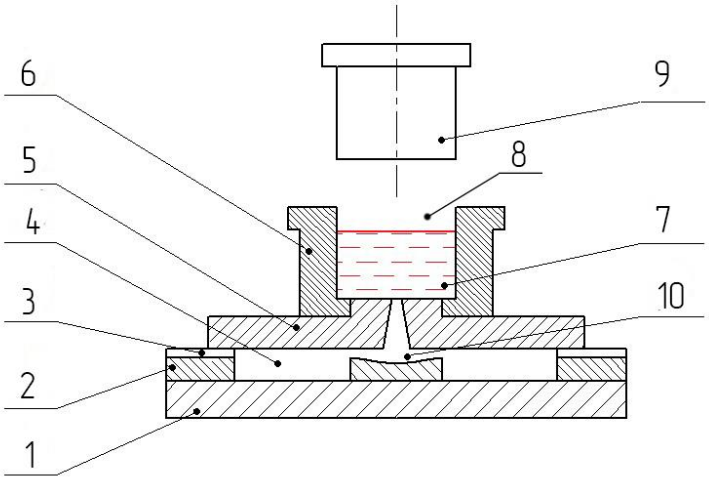


Рисунок 7.4 – Литьевое прессование

Последовательность выполнения процесса прессования следующая:

- сборка пресс-формы, состоящей из частей 1, 2, 5 и 6;

-загрузка предварительно нагретого пресс-материала 7 в загрузочную камеру 8;

- создание давления в загрузочной камере 8 с помощью штока 9 и перемещение пресс-материала 7 в формующую полость 10 пресс-формы в соответствии с рисунком 7.5;

- выдержка под давлением при заданной температуре в течение определенного времени;

- разборка пресс-формы и извлечение отпрессованной детали из пресс-формы;

- удаление литников.

Литьевое прессование имеет некоторые преимущества по сравнению с компрессионным, а именно:

- исходный пресс-материал помещаемый в загрузочную камеру равномерно разогревается до температуры прессования и при перемещении в формующую полость равномерно перемешивается в результате чего процесс отверждения происходит быстрее;

- из пресс-материала в формующей полости полнее удаляются поры и летучие соединения через вентиляционные отверстия 3.

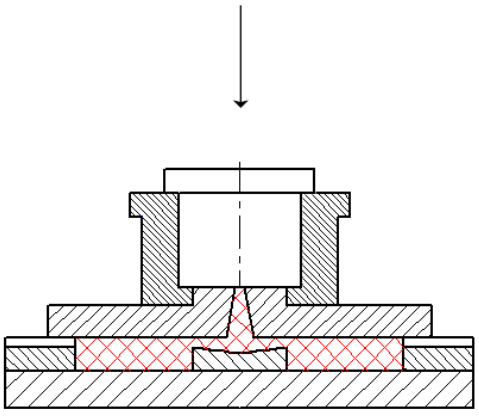


Рисунок 7.5 – Формование детали литьевым прессованием

Благодаря указанным достоинствам уменьшается коробление детали, т.к. отверждение пресс-материала в различных слоях детали с более равномерной скоростью и следовательно остаточные напряжения снижаются. В результате литьевым прессованием можно получить более качественную деталь с большей разнотолщинностью стенок.

К недостаткам литьевого прессования следует отнести следующие факторы:

- необходимость использования более высоких давлений прессования;
- сложность пресс-формы;
- увеличенный расход пресс-материала. связанный с образованием литников.

Основные параметры прессования и их конкретные значения аналогичны опис анным в компрессионном прессовании.

7.4 Литье под давлением

Литье под давлением является одним из самых производительных процессов формования пластмассовых деталей. Схематично процесс выполняется в соответствии с рисунком 7.6.

Процесс формования выполняется в следующей последовательности:

- пресс-материал 1 загружается в бункер 2 литьевой машины и через дозирующее устройство 3 поступает в загрузочную камеру 4 в тот момент, когда поршень 5 цилиндра 6 литьевой машины находится в крайнем левом положении. За один рабочий ход поршня дозирующее устройство подает в загрузочную камеру количество пресс-материала равное по весу одной отливке вместе с литниковой системой;
- в загрузочной камере пресс-материал нагревается с помощью устройств термонагрева 7 до требуемой температуры, поддерживаемой устройством автоматического терморегулирования 8;
- далее происходит процесс смыкания частей 9 и 10 литьевой формы, установленных на основании и перемещение пресс-формы влево до соединения с соплом 11 загрузочной камеры. Под действием приложенного усилия для перемещения литьевой формы пружины 12 будут сжиматься;
- под действием поршня материал под большим давлением через сопло нагнетается в пресс-форму где затвердевает;
- после выдержки в течение требуемого времени и снятия усилия приложенного к пресс-форме при ее перемещении к соплу, пружины 11 отводят пресс-форму вправо, далее следует раскрытие пресс-формы, а поршень отводится влево для следующего прессования;
- на завершающем этапе происходит выталкивание готовой детали из пресс-формы с помощью подпружиненного выталкивателя 14.

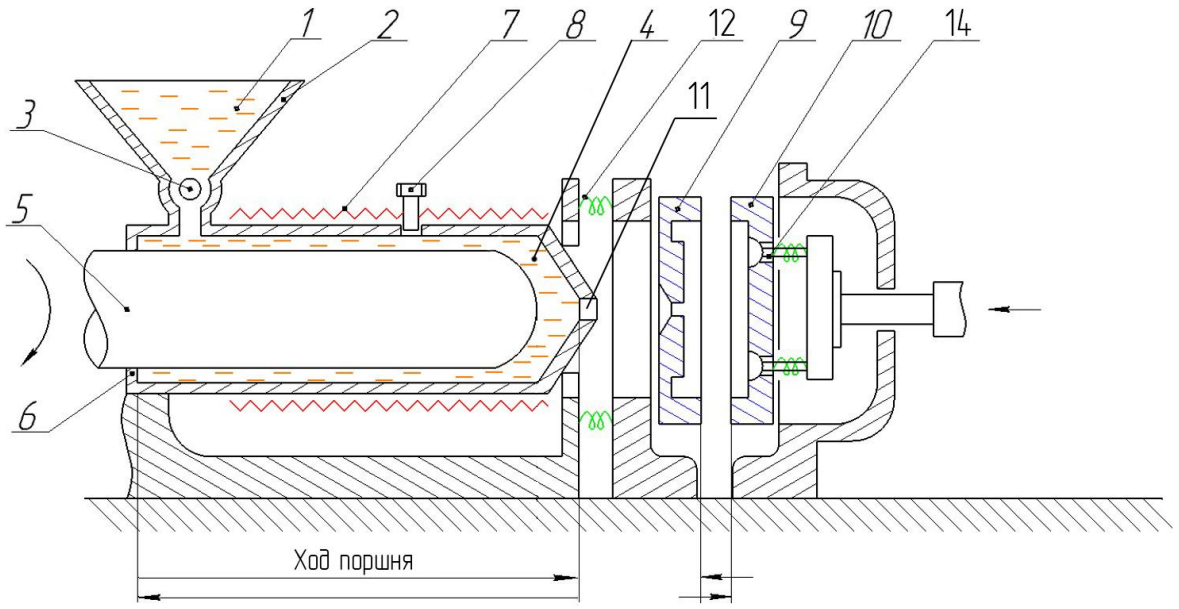


Рисунок 7.6 – Литье под давлением

Основные параметры процесса:

- температура расплава в загрузочной камере (обычно от 140 до 160 °С);
- давление прессования;
- температура пресс-формы;
- время выдержки под давлением;
- время охлаждения в пресс-форме.

Конкретные числовые значения параметров зависят от свойств пластмассы, и размеров детали. Данные параметры рассчитываются по специальной литературе и затем отрабатываются экспериментальным путем.

7.5 Прессование деталей из листовых заготовок

В отличие от вышеописанных процессов, данный процесс предусматривает изготовление деталей не из порошков или гранул, а из листовых заготовок, изготовленных ранее по одному из описанных способов. Исходя из сказанного, изготовление деталей может быть выполнено только из термопластичных листовых заготовок.

Процесс выполняется в соответствии с рисунком 7.7 в следующей последовательности:

- закрепление листовой заготовки 3 в зажимной рамке 2;
- разогрев заготовки инфракрасным излучателем 1 (или другим способом);
- предварительная вытяжка на пуансоне 4, установленном на плите 5;
- формование на пунсоне с помощью вакуумирования (при необходимости);
- охлаждение, вырубка по контуру.

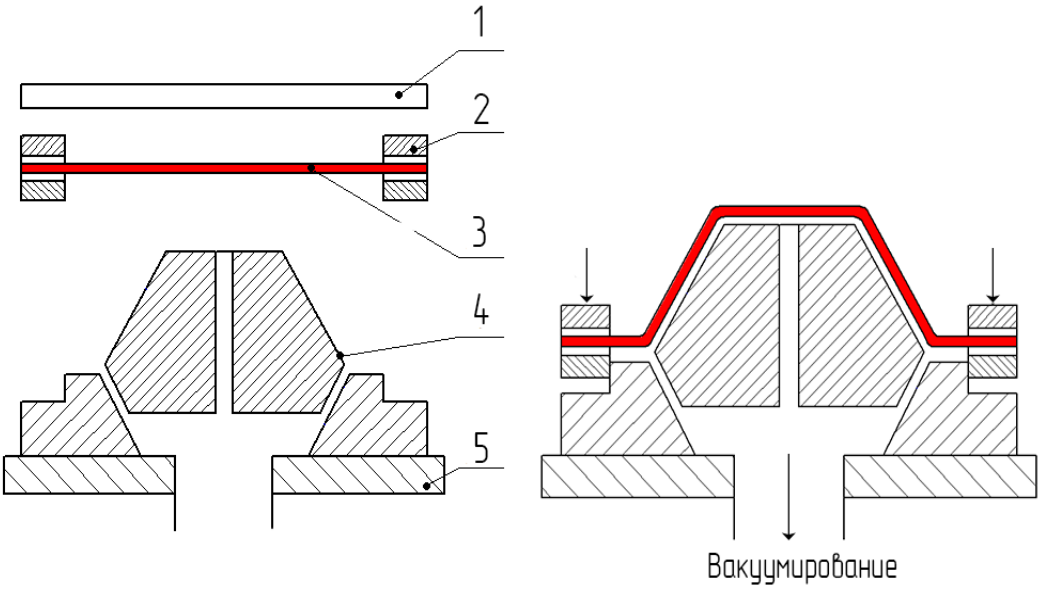


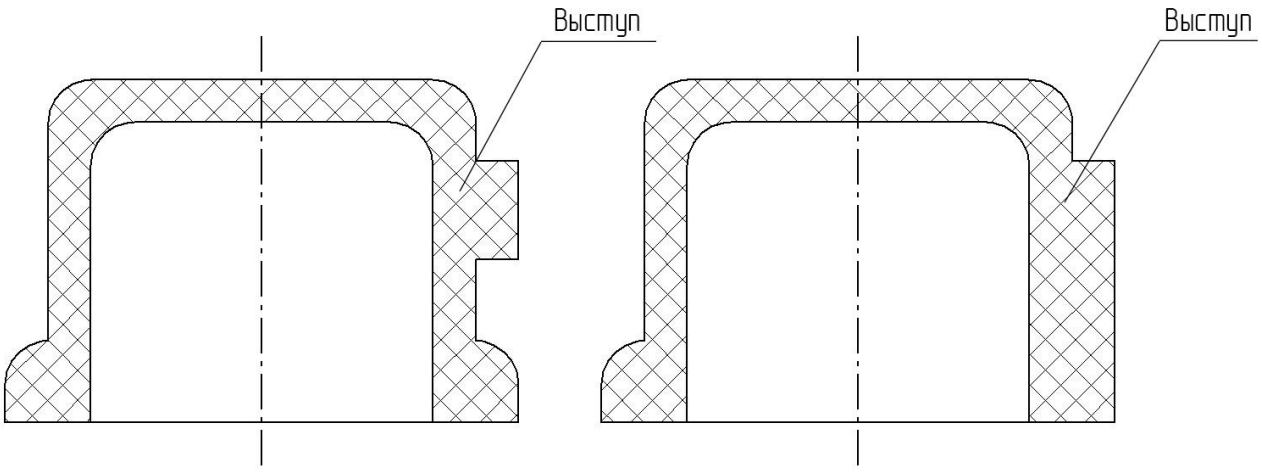
Рисунок 7.7 – Прессование детали из листовой заготовки

7.6 Требования технологичности к деталям из пластмасс

Требования технологичности, предъявляемые к конструкциям деталей из пластмасс должны обеспечивать качественное изготовление деталей при минимальных затратах.

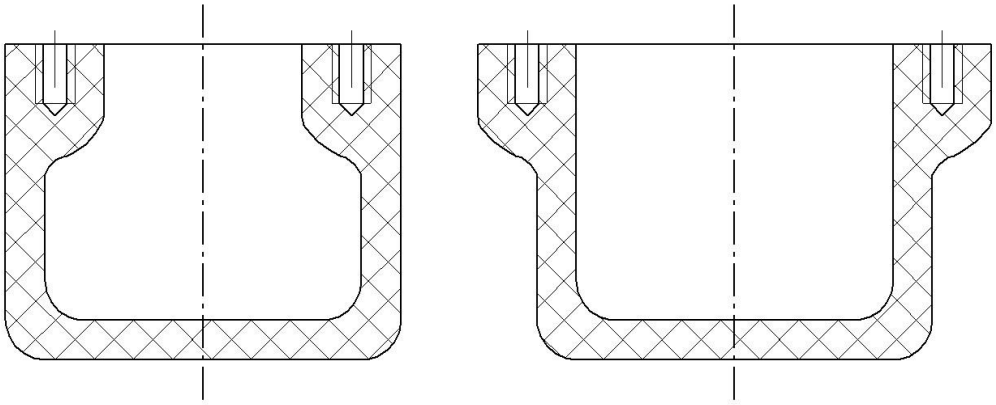
Конструкции деталей, изготавливаемых из пластмасс должны обеспечивать легкое их извлечение из пресс-формы. В конструкциях недопустимы «подрезки» - местные выступы и углубления на поверхностях деталей, для реализации которых требуется вводить дополнительные разъемы формы, убирающиеся элементы, а также применять раздвижные формы, раскрывающиеся в направлении перпендикулярном к извлечению детали из формы.

Некоторые неправильные и правильные решения конструкций пластмассовых деталей показаны в соответствии с рисунками 7.8 – 7.10.



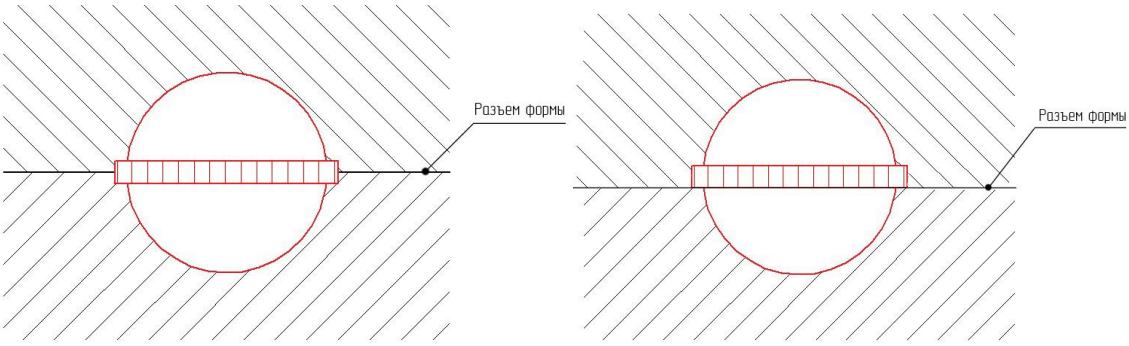
Неправильная Правильная

Рисунок 7.8 – Конструкция выступа



Неправильная Правильная

Рисунок 7.9 – Конструкция бурта



Неправильное Правильное

Рисунок 7.10 – Два решение конструкции прессформы

Вопросы для самопроверки к разделу 7.

1 Назовите составные ингредиенты пластмасс и их назначение.

2 Чем отличаются термореактивные и термопластичные пластмассы.

3 Назовите основные этапы изготовления деталей из пластмасс.

4 От чего зависит точность изготовления деталей из пластмасс.

5 В чем заключается преимущество литьевого прессования от компрессионного.

6 Изобразите деталь, получаемую методом литьевого прессования в соответствии с рисунком 8.5.

7 Схематично процесс изготовления деталей из пластмасс приведен в соответствии с рисунком 8.6, где изготавливаемая деталь позиция 13 пропущена. Изобразите эту деталь.

8 Назначение вакуумирования при изготовлении пластмассовых деталей из листовых заготовок.

9 Основные режимы прессования деталей из пластмасс.

10 Почему в соответствии с рисунком 8.8 левая деталь считается «неправильной».

8 Технология электрических соединений

8.1 Общие сведения

Результаты исследований отказов радиоэлектронной аппаратуры, проведенные рядом предприятий, показали, что до 80 % отказов происходят по вине некачественных электрических соединений.

В общем случае качество электрических соединений определяется рядом факторов, которые в совокупности должны обеспечивать:

- высокую надежность;
- минимальное омическое сопротивление в зоне контакта;
- максимальную механическую прочность;
- стойкость к воздействию внешних дестабилизирующих факторов.

Технология выполнения электрических соединений при безусловном выполнении вышеназванных требований к качеству соединений, должна обеспечивать:

- возможность соединения разнообразных материалов и типоразмеров соединяемых элементов;
- минимальное значение параметров соединения (температура, давление, время воздействия);
- отсутствие образования в зоне контакта материалов, вызывающих деградацию соединения;
- надежность и простоту контроля соединения;
- экономическую эффективность технологического процесса и его экологичность.

К основным методам электрических соединений относят: пайку, сварку, соединения, основанные на пластической деформации соединяемых деталей и соединения токопроводящими клеями.

8.2 Пайка

8.2.1 Основные положения

Пайкой называют технологический процесс соединения металлов в твёрдом состоянии путём введения в зазор расплавленного припоя, взаимодействующего с основным металлом и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва.

Паяные соединения нашли широкое применения при монтаже электронной аппаратуры вследствие:

- универсальности;
- простоты автоматизации;
- простоты контроля и ремонта.

Однако наряду с достоинствами паяные соединения имеют и ряд недостатков, а именно:

- длительное воздействие повышенной температуры;

- высокая стоимость используемых цветных металлов (припоев) и флюсов;
- коррозионная активность остатков флюсов;
- выделение вредных веществ, требующих применения индивидуальной и групповой защиты персонала.

Качественное паяное соединение можно получить при условии выполнения следующих физико-химических этапов:
- подготовка поверхностей соединяемых деталей;
- активирование соединяемых металлов и припоя;
- обеспечение взаимодействия металла и припоя;
- создание условий для кристаллизации жидкой металлической прослойки между соединяемыми деталями.

8.2.2 Подготовка поверхностей

Подготовка поверхностей соединяемых деталей в общем случае включает:
- удаление загрязнений и оксидных пленок механическим и/или химическим способом;
- нанесение (при необходимости) специальных покрытий улучшающих способность к пайке;
- нанесение (при необходимости) специальных консервационных покрытий.

Удаление загрязнений и оксидных пленок механическим путем выполняют с помощью режущего инструмента: резца, шлифовального круга, наждачной бумаги, проволочной или синтетической щетки. Образовавшаяся после такой обработки шероховатость поверхности представляет собой множество мельчайших рисок (капилляров), которые способствует при пайке растеканию флюса и припоя.

При химическом способе очистки применяют обезжиривание и травление.

Обезжиривание выполняют в растворах щелочей или в органических растворителях (ацетон, бензин, четыреххлористый углерод, спиртобензиновая смесь и др.).

Травление выполняют в растворах кислот или щелочей. Состав раствора определяется видом металла, толщиной оксидной плёнки и требуемой скоростью травления. После операций обезжиривания и травления детали тщательно промывают с применением нейтрализующих растворов.

В современном производстве обычно очистку деталей выполняют, сочетая механическую и химическую обработки.

Очищенные таким образом детали могут сохранять свойства паяемости до 5 суток для медных проводников и деталей и до 15 суток для проводников покрытых серебром. Для увеличения срока паяемости детали подвергают покрытиям серебром, золотом, палладием и их сплавами, а также применяют специальные консервационные покрытия. Состав консервационных покрытий должен сочетаться с составом применяемого флюса, что позволит в дальнейшем выполнять пайку без удаления данных покрытий. В качестве таких покрытий применяют покрытия на основе канифоли и пленки щелочных металлов.

Указанные покрытия позволяют повысить срок паяемости в ряде случаев до 6 месяцев.

8.2.3 Активирование соединяемых металлов и припоя.

При нагревании основного металла деталей или проводников в совокупности с расплавлением припоя приводит к снижению их активности вследствие взаимодействия с кислородом воздуха и образования оксидной плёнки.

Для удаления образовавшейся оксидной пленки и одновременной защиты поверхностей деталей от окисления, применяют флюсы, газовые среды, самофлюсующиеся припои, способы физико-механического воздействия, например ультразвуковое воздействие.

Пайка с флюсами наиболее распространенный вид пайки, так как её можно осуществлять в обычных атмосферных условиях без применения дорогостоящего оборудования. Во время пайки расплавленный флюс растекается по поверхности детали и припоя, смачивает их, вступает с ними во взаимодействие, в результате чего удаляется оксидная пленка.

Однако применение флюсов зачастую приводит к тому, что остатки флюсов и продукты их взаимодействия с оксидными пленками образуют в паяном шве шлаковые включения, которые в свою очередь снижают прочность шва, его коррозионную стойкость и герметичность. Избежать данного эффекта можно при переходе на бесфлюсовую пайку или пайку в газовых (нейтральных или активных) средах или вакууме.

В качестве нейтральных газовых сред применяют азот, аргон, гелий, криптон. В качестве активных сред используют водород, оксид углерода, азотно-водородную смесь и др.

Наряду с указанными преимуществами применения газовых сред, есть и негативные факторы их применения, а именно образование нежелательных продуктов взаимодействия этих сред с основным металлом паяемых изделий. Эти продукты реакции приводят к ухудшению свойств паяного соединения.

Принцип физико-химических методов удаления оксидных пленок заключается в их разрушении под слоем жидкого припоя с помощью утразвуковых колебаний.

8.2.4 Обеспечение взаимодействия металла и припоя

Качественные характеристики паяного соединения зависят от того насколько хорошо и равномерно расплавленный припой смачивает поверхность металла паяемых деталей.

В данной стадии взаимодействия металла паяемых деталей и припоя происходит растекание расплавленного припоя по поверхности деталей. Процесс растекания продолжается до установления равновесия сил поверхностного натяжения припоя на границе трех фаз: твердый металл – жидкий припой – пары флюса.

Чем выше поверхностное натяжение припоя в расплавленном состоянии, тем хуже смачивает он основной металл. Здесь следует отметить, что поверх-

ностное натяжение металлов не характеризует однозначно способность их в расплавленном состоянии растекаться по поверхности твердого металла, т.к. растекание припоя определяется соотношением сил адгезии припоя к поверхности металла детали и когезии, определяемой силами связи между частицами припоя.

На процесс растекания припоя по поверхности детали также сказываются технологические факторы процесса пайки: метод удаления оксидной пленки в процессе пайки, предшествующая механическая обработка, режим пайки и др. Так образовавшаяся шероховатость поверхности после механической обработки представляет собой множество капилляров, по которым припой активно растекается по поверхности.

В процессе растекания припоя по поверхности детали также происходит взаимодействие жидкого припоя с металлом детали в виде растворения и диффузии металлов припоя и металлов детали, которая зависит от режимов пайки (температура, скорость нагрева, время пайки).

8.2.5 Кристаллизация металлической прослойки

Кристаллизация металлической прослойки – завершающий этап пайки, который наступает после удаления из зоны пайки тепловой энергии. Кристаллизация начинается в шве на металле детали, который оказывает ориентирующее воздействие на расплавленный припой.

На структуру паяного шва влияет величина зазора между соединяемыми деталями, т.к. он определяет температурный градиент расплавленного припоя, величину области концентрационного переохлаждения, а также скорость охлаждения. При одинаковых технологических режимах уменьшение зазора (толщины кристаллизирующегося припоя) между соединяемыми деталями приводит к изменению формы кристаллов паяного шва. Так при величине зазора (толщине кристаллизующегося припоя) от 0.5 до 2,0 мм паяный шов представляет собой дендритные формы кристаллов. При зазоре от 0,3 до 0,4 мм шов будет представлять собой ячеистые формы кристаллов, а при зазоре от 0,1 до 0,2 мм шов будет иметь кристаллы с гладкой поверхностью, обеспечивающей наивысшее качество соединения.

Необходимо также отметить, что при кристаллизации паяного шва характерной особенностью является ликвация шва, объясняемая образованием зональных неоднородностей, которые отличаясь меньшей прочностью, будут несколько снижать прочность шва.

8.2.6 Материалы для пайки

Правильный выбор материалов пайки в совокупностью с правильным выбором режимов оказывает существенное влияние на качество соединения.

К материалам пайки относят:

- флюсы;
- припои;
- очистные жидкости.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается широкий ассортимент данных материалов, выбор которых выполняют в зависимости от соединяемых пайкой материалов деталей, их конструкций, условий эксплуатации и др.

Выбор конкретных материалов выполняют по отраслевым стандартам и справочникам.

8.2.7 Технология выполнения пайки

В зависимости от типа производства и конструкции, в которой выполняется электромонтаж, пайка, может выполняться индивидуальным или групповым методом.

Индивидуальная пайка, обычно выполняемая с помощью нагретого паяльника, имеет широкое распространение при электромонтаже ЭС с помощью проводного монтажа, запаивании элементов к штыревым выводам, а также при монтаже печатных плат в единичном и мелкосерийном производстве. Индивидуальная пайка также широко применяется при ремонте ЭС.

Групповая пайка применяется в основном в серийном, крупносерийном и массовом производстве для монтажа элементов на печатные платы с одной из сторон.

К основным преимуществам групповой пайки следует отнести:

- повышение производительности;
- автоматизация производства;
- повышение качества за счет строгого соблюдения технологических режимов;
- снижение стоимости производства за счет высвобождения ручного труда.

Однако для получения указанных преимуществ необходимо повысить требования:

- к качеству подготовки поверхностей;
- к предотвращению перегрева термочувствительных элементов
- к разработке и применению конструктивно-технологических решений по устранению характерных дефектов (сосулек, перемычек, наплывов и др.);
- к процессу отмывки более активного, чем при индивидуальной пайке, флюса, который наносится в больших количествах.

Выбор метода пайки зависит от программы выпуска изделий, особенностей конструкции, требований к качеству.

Технологический процесс пайки в общем случае состоит из следующих операций:

- фиксация соединяемых деталей с предварительно подготовленными поверхностями;
- нанесение дозированного количества флюса и припоя;
- нагрев деталей или локальный нагрев места соединения до заданной температуры с выдержкой в течение требуемого времени;
- охлаждение полученного соединения в зафиксированном первоначально положении;
- очистка полученного паяного соединения;

- контроль качества.

При индивидуальной пайке паяльником требуемый температурный режим обеспечивается применением современных паяльников, имеющих автоматизированные устройства управления и поддержания режима. Такие паяльные устройства называют паяльные станции. Одна из моделей паяльной станции имеет внешний вид в соответствии с рисунком 8.1.



Рисунок 8.1 – Паяльная станция «МАГИСТР Ц20-М»

Из известных в настоящее время групповых методов пайки рассмотрим пайку волной припоя, которая нашла широкое применение в производстве печатных плат.

Пайка волной припоя может быть выполнена в двух вариантах:

- односторонней волной припоя;
- двусторонней волной припоя.

Принцип пайки волной заключается в том, что печатная плата с установленными на ней ЭРИ прямолинейно перемещается через гребень волны припоя, создаваемой специальной установкой в соответствии с рисунком 8.2.

Для образования волны припоя в установках используют механические нагнетатели, давление воздуха или газа, ультразвуковые колебания, электромагнитные нагнетатели.

Главным условием высокой разрешающей способности пайки волной припоя является создание тонкого и равномерного слоя припоя на проводниках,

позволяющего без перемычек, мостиков и сосулек припоя паять платы с малыми зазорами между печатными проводниками.

Процесс пайки состоит из трех этапов в соответствии с рисунком 8.2:

- первый этап – печатная плата входит в зону волны припоя в точке А;

- второй этап – плата перемещаясь со скоростью конвейера V_K контактирует с волной пропоя на отрезке А – В;

третий этап – плата выходит из зоны припоя в точке В.

На первом этапе (в точке А) направление скорости фонтана волны V_A в точке А противоположно направлению скорости конвейера V_K что способствует удаление паров флюса из зоны взаимодействия печатной платы и волны припоя: как при двухсторонней, так и при односторонней волне.

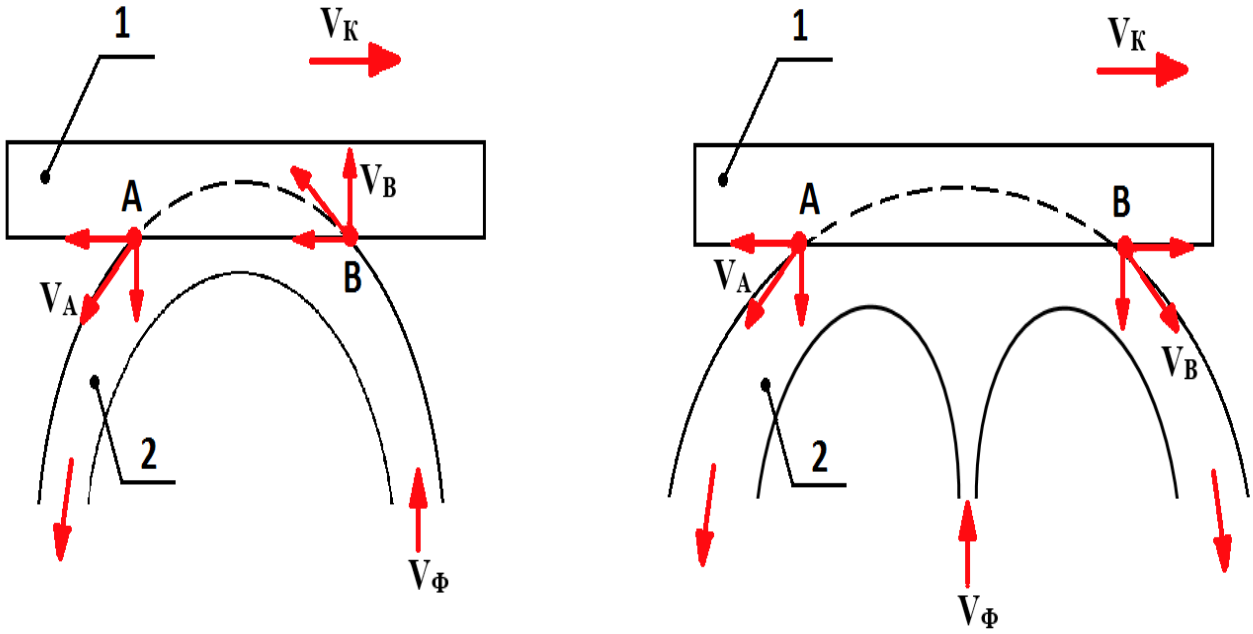
На втором этапе (отрезок А – В) полоса растекания припоя по плате, в сочетании со скоростью конвейера V_K, определяет время пайки. При двусторонней волне, это время больше за счёт чего достигается более полное заполнения припоем металлизированных отверстий. Однако увеличение времени взаимодействия платы и припоя одновременно с положительным фактором дает и отрицательный эффект, а именно увеличивает толщину припоя на печатных проводниках.

На третьем этапе (точка В) печатная плата выходит из зоны контактирования с волной припоя в результате чего происходит окончательное формирование толщины припоя на проводниках.

В односторонней волне припоя направление скорости волны припоя V_B противоположно направлению скорости конвейера V_K что создает хорошие условия для смывания излишек припоя и уменьшения его толщины на проводниках печатной платы.

В двусторонней волне припоя направление скорости волны припоя V_B совпадает с направлением скоростью конвейера V_K в результате чего на печатных проводниках платы образуются наплывы припоя, ухудшающие параметры печатных проводников.

В последнее время в технологии ЭС получили распространение методы пайки концентрированными потоками тепловой энергии. Достоинствами этих методов являются высокая интенсивность, бесконтактное воздействие источника нагрева на зону контактирования, ограниченная зона теплового воздействия. Разработанные методы активируют не только систему "припой – паяемый материал", но и процессы их физико-химического взаимодействия, что приводит к интенсификации процессов пайки. К указанным методам можно отнести пайку горячими потоками газов, ИК-излучением, токами высокой частоты, лазерным излучением.



Односторонний тип волны Двусторонний тип волна

1 – печатная плата 2 – волна припоя

Рисунок 8.2 – Пайка волной припоя

8.3 Сварка

Сварка – это процесс получения неразъёмного соединения материалов под действием активирующей энергии теплового поля, деформации или их сочетаний.

Принцип соединения сваркой заключается в создании условий, при которых в материалах соединяемых деталей начинают действовать силы межатомного сцепления, а это может произойти в одном из трех вариантах:

- нагреванием материалов в месте соединения до расплавления без применения усилий сжатия;
- нагреванием материалов в месте соединения до температуры ниже точки плавления, но с применением достаточного усилия сжатия;
- применением очень больших удельных усилий сжатия без нагрева.

В производстве ЭС сварку применяют для изготовления следующих изделий:

- элементов конструктивной базы (каркас, корпус, крышка, рамка и др.);
- создания электрических связей при электрическом монтаже.

Сварка имеет ряд преимуществ по сравнению с пайкой, а именно:

- более высокая механическая прочность;
- отсутствие присадочных материалов;
- незначительная, дозированная тепловая нагрузка;
- возможность уменьшения расстояния между контактами.

К недостаткам сварки следует отнести:

- критичность при выборе сочетаний материалов;
- увеличение переходного сопротивления из-за образования интерметаллидов;
- невозможность групповых соединений;
- сложность ремонта.

К основным видам сварки относятся: сварка газопламенная, электродуговая, электронно-лучевая, лазерная.

Выбор того или иного вида сварки в каждом конкретном случае производится исходя из габаритов свариваемых деталей, их материалов и конструктивных особенностей.

8.4 Соединения, основанные на пластической деформации

Соединения, основанные на пластической деформации контактируемых деталей, проводов или выводов, выполняются в холодном состоянии.

Принцип получения данного соединения заключается в приложении значительных механических усилий к соединяемым элементам, в результате чего происходит разрушение оксидных пленок на поверхности соединяемых деталей и образование герметичного соединения.

Данное соединение характеризуется высокой механической прочностью, низкой стоимостью, возможностью автоматизации, не создаёт помех в цепях низкого напряжения.

В настоящее время в ЭС широкое применение нашел метод накрутки.

Накруткой называют процесс создания электрического соединения путём навивки под натягом определённого числа витков одножильного провода на штыревой вывод с острыми кромками.

В ЭС применяют три вида метода накрутки в соответствии с рисунком 8.3.

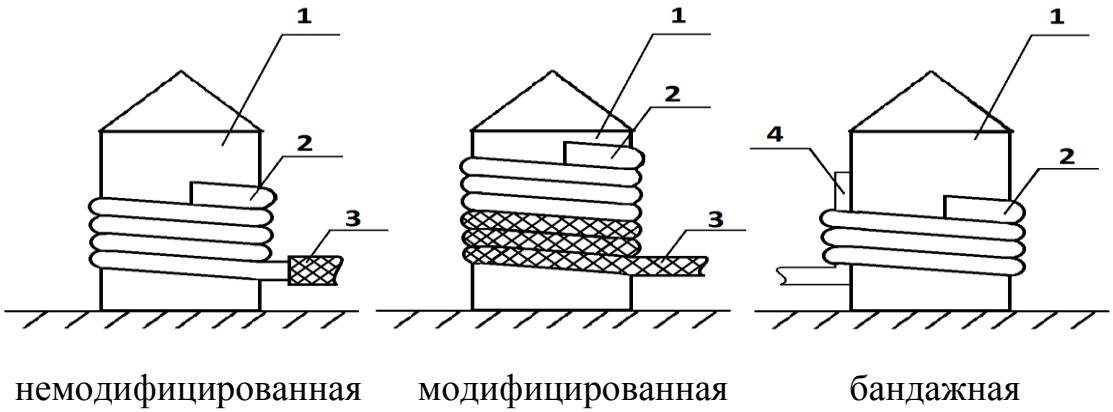


Рисунок 8.3 – Накрутка

В немодифицированной накрутке на вывод 1 с острыми кромками под значительным усилием (порядка 20 МПа) накручивают одножильный провод 2 со снятой изоляцией 3. В результате приложенного усилия разрушаются оксидные

пленки на поверхности вывода и провода, острые кромки вывода врезаются в провод, вследствие чего возникает взаимная диффузия металлов. Все сказанное обеспечивает надежность соединения.

В модифицированной накрутке на вывод накручивают от 2 до 3 витков провода с изоляцией 3, что обеспечивает демпфирование воздействующих знакопеременных нагрузок на соединение. Данное соединение применяют в изделиях, работающих в условиях вибрации.

Бандажное соединение применяют для крепления к выводам, элементов, которые по условиям применения нельзя накручивать, например выводы радиоэлементов, шины и др. В данном случае прикрепляемый элемент 4 располагают вдоль широкой поверхности вывода 1 и на них накручивают не менее 8-ми витков бандажной проволоки 2.

8.5 Соединение токопроводящими клеями

Соединение токопроводящими клеями в отличие от пайки и сварки не вызывает изменения структуры соединяемых материалов, так как проводится при низких температурах. Такое соединение существенно упрощает конструкцию и применяется в тех случаях, когда другие способы невозможны: в труднодоступных местах, при ремонтных работах и т.д. Широкого распространения в серийном производстве ЭС метод не получил из-за невысокой проводимости, низкой термостойкости и малой надёжности соединений.

Вопросы для самоконтроля к разделу 8.

1 Факторы, влияющие на качество электрического соединения.

2 Что в общем случае должна обеспечивать технология электрических соединений.

3 Достоинства и недостатки пайки.

4 Химические способы очистки поверхностей деталей перед пайкой.

5 Что предпринимают для увеличения срока паяемости очищенных деталей.

6 Как влияет зазор между деталями на качество паяного соединения.

7 Преимущества и недостатки пайки волной припоя при использовании односторонней и двусторонней волн.

8 Преимущества и недостатки сварки по сравнению с пайкой.

9 Назначение модифицированной накрутки.

10 Область применения токопроводящих клеевых соединений.

9 Технология моточных изделий

9.1 Общие сведения

К моточным изделиям электронных средств принято относить катушки индуктивности, дроссели и трансформаторы.

Внешний вид трансформаторов приведен в соответствии с рисунками 9.1.



с пластинчатым магнитопроводом | с ленточным магнитопроводом | с формованным магнитопроводом

Рисунок 9.1 – Трансформаторы

В общем случае технологический процесс изготовления моточных изделий состоит из следующих этапов:

- изготовление каркаса для катушки;
- изготовление установочных деталей;
- изготовление магнитопровода;
- изготовление катушки;
- сборка;
- испытание.

Изготовление каркаса для катушки в настоящее время в серийном производстве выполняют по технологии изготовления деталей из пластмасс, приведенной в разделе 7 данного пособия.

Изготовление установочных деталей (основания, стяжки, кронштейны, обоймы и др.) выполняют из металла методами механической обработки или из полимеров методами, описанными в разделе 7 учебного пособия.

В данном учебном пособии рассмотрена технология изготовления магнитопроводов.

Пластинчатые магнитопроводы представляют собой пакеты, собранные из штампованных пластин в соответствии с рисунком 9.2.

Ленточные магнитопроводы, получаемые спиральной навивкой на оправку, имеют круглую или овальную формы в соответствии с рисунком 9.3.

Формованные магнитопроводы, состоящие из одной или нескольких деталей, изготавливаемых из порошкообразных материалов (магнитодиэлектриков

или ферритов) с применением технологии формования и спекания имеют различные формы в соответствии с рисунком 9.4.

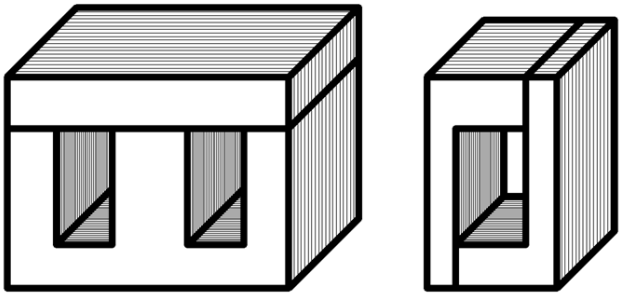


Рисунок 9.2 – Пакеты, собранные из пластинчатых магнитопроводов

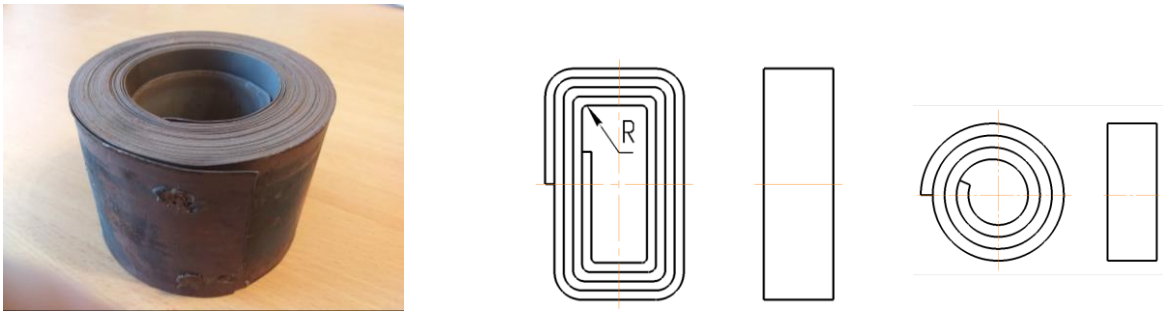


Рисунок 9.3 – Ленточные магнитопроводы

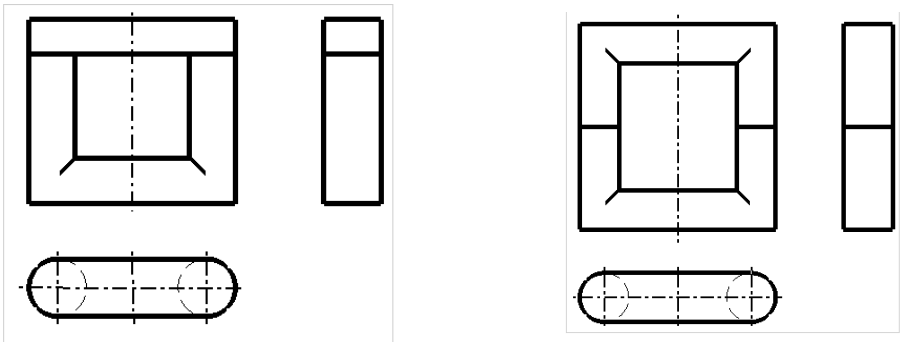


Рисунок 9.4 – Формованные магнитопроводы

Магнитопроводы изготавливают из материалов, имеющих высокую магнитную проницаемость, низкую коэрцитивную силу, минимальные потери на гистерезис и вихревые токи, стабильные характеристики в диапазоне температур и устойчивость к внешним механическим воздействиям.

Соответствие физических свойств магнитопроводов указанным требованиям обеспечивается выбором материала и правильным построением технологического процесса изготовления.

Для изготовления пластинчатых и ленточных магнитопроводов применяют электротехнические стали и железоникелевые сплавы (пермаллои), которые при их переработке в детали, под действием механических воздействий, существенно теряют свои магнитные свойства. В связи со сказанным, в технологии производства таких магнитопроводов предусмотрены специфические операции по восстановлению магнитных свойств.

9.2 Пластинчатые магнитопроводы

Типовой технологический процесс изготовления пластинчатых магнитопроводов состоит из нескольких основных этапов, которые в свою очередь могут состоять из одной или нескольких операций в зависимости от организации производственного процесса.

Этап 1

Контроль поступившего на предприятие материала. На данном этапе проверяют внешний вид, магнитные параметры и др.

Этап 2

Чаще всего материал поступает на предприятия с размерами, значительно превышающими размеры изготавливаемых магнитопроводов, поэтому на данном этапе выполняют операцию резки полученных листов материала на полосы требуемой ширины, соответствующими ширине пластин магнитопровода.

Резку выполняют роликовыми, дисковыми или гильотинными ножницами.

Этап 3

На данном этапе из полученных на этапе 2 полос выполняют операцию вырубки пластин по контуру с одновременной или последовательной вырубкой отверстий (при необходимости) для последующей стяжки пакета. Пример готовой пластины в соответствии с рисунком 9.5.

Вырубку выполняют в основном штампами на прессах.

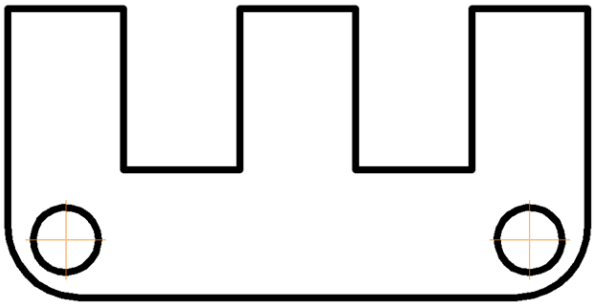


Рисунок 9.5 – Пример готовой пластины

Этап 4

На данном этапе выполняют операцию снятия заусенцев с кромок пластин, вырубленных на этапе 3.

Снятие заусенцев выполняют шлифованием или вальцеванием.

Этап 5

На данном этапе выполняют правку пластин, придавая им требуемую плоскостность, так как после первых четырех этапов, в результате механических воздействий, пластины могут иметь большую неплоскостность.

Этап 6

На данном этапе выполняют обезжиривание пластин, используя чередование ацетона и бензина.

Этап 7

Как говорилось выше, магнитные материалы в результате механических воздействий теряют свои магнитные свойства. Для восстановления магнитных свойств в технологии предусмотрены специфические операции – отжиг пластин. Во время отжига, при размещении большого количества пластин в ограниченном объеме установки, пластины могут спекаться друг с другом. Для предотвращения спекания предусмотрен данный 7 этап, условно называемый «припудриванием». Пластины со всех сторон посыпают мелкодисперсионным порошком из окиси алюминия или окиси магния, который и предотвращает спекание пластин при высоких температурах.

Этап 8

На данном этапе выполняют отжиг пластин по регламентированному режиму, зависящему от применяемого магнитного материала.

Приведем пример режима отжига пластин, изготовляемых из широко применяемого пермаллоя 50НП.

Предварительный отжиг:

- среда – вакуум $133 \cdot 10^{-3}$Па;
- температура отжига – от 1273 до 1303 К;
- время отжига – от 2 до 2,5 час;
- скорость охлаждения после отжига равна скорости охлаждения выключенной установки.

Окончательный отжиг:

- среда – вакуум $133 \cdot 10^{-4}$Па;
- температура отжига – от 1373 до 1423 К;
- время отжига – 1 час;
- скорость охлаждения после отжига составляет 200 К/час от температуры отжига до 873 К и далее 673К/час.

Этап 9

На данном этапе выполняют изоляцию пластин оксидированием, фосфатированием или лакированием.

После выполнения этапа 9 пластины полностью готовы для сборки их в пакеты и установки в трансформаторы.

В настоящее время ряд предприятий освоил более современную технологию изготовления пластин. Так вместо резки материала на полосы и последующей вырубки применяют лазерный раскрой поступившего материала, позволяющий изготавливать пластины более высокого качества.

Сокращение ряда этапов позволяет также переход на изготовление пластин из материала с термостойким изоляционным покрытием.

9.3 Ленточные магнитопроводы

Этап 1 и этап 2 аналогичны этапам изготовления пластин, т. е. выполняют контроль материала и резку на ленты требуемой ширины.

На этапе 3 выполняют снятие заусенцев с кромок ленты.

На этапе 4 выполняют обезжиривание и промывку ленты.

Этап 5

На данном этапе выполняют навивку сердечника в специальной установке с одновременной изоляцией полос и сушкой в соответствии с рисунком 9.5.

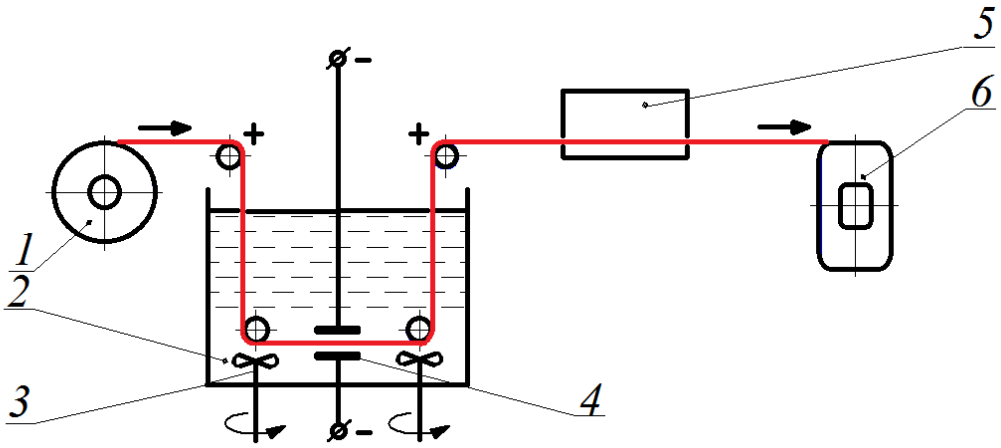


Рисунок 9.5 – Изготовление ленточного магнитопровода

Лента материала (показана красным цветом) разматывается с бобины 1 и по направляющим роликам пропускается через ванну 2, заполненную суспензией на основе двуокиси кремния или окиси магния.

Проходя через электроды 4, лента, подвергаясь электрофорезу, приобретает с двух сторон изоляционное покрытие. В ванне установлены устройства 3 для постоянного перемешивания суспензии.

На выходе из ванны лента проходит через сушильную камеру 5 и далее наматывается на навивочную оправку 6. После навивки требуемого числа витков лента обрезается, последний виток закрепляется с помощью контактной сварки.

Этап 6

На данном этапе выполняется отжиг намотанного магнитопровода аналогично этапу 8 пластинчатого манитопровода.

Этап 7

На данном этапе выполняют пропитку магнитопровода по технологии, приведенной в подразделе 5.4 данного пособия.

Этап 8

На данном этапе выполняют разрезание магнитопровода на две симметричные части для обеспечения установки катушки. В некоторых трансформаторах разрезание не производят, но при этом существенно усложняется намотка катушек.

Этап 9

На данном этапе выполняют шлифовку торцевых поверхностей (после разрезания) магнитопровода.

После выполнения этапа 9 магнитопровод полностью готов для установки в трансформатор.

Вопросы для самоконтроля к разделу 9

1 Назначение этапа «отжиг» магнитопровода.

2 Каким инструментов выполняют резку материала на требуемые полосы.

3 С какой целью выполняют разрезание ленточного магнитопровода на две части.

4 Как закрепляют последний виток ленточного магнитопровода перед снятием его с навивочной оправки.

5 Какими методами возможно изготовление отдельных пластин магнитопровода.

6 Чем выполняют обезжиривание пластин или лент магнитопровода.

10 Технология сборки электронных средств

10.1 Общие сведения

Технологическим процессом сборки называют совокупность операций, направленных на соединение деталей и сборочных единиц для обеспечения их относительного положения, предусмотренного сборочным чертежом, с целью выполнения необходимого функционального назначения.

Сборка – это образование разъемных и неразъемных соединений составных частей собираемого изделия. К составным частям при сборке относят детали, сборочные единицы, покупные механические и электрорадиоизделия, а также материалы, которые предназначены для обеспечения собираемости изделия и его дальнейшего функционирования.

В состав сборочного техпроцесса могут в общем случае входить операции электрического монтажа (монтаж на печатных платах, проводной монтаж и др.), операции механической сборки (резьбовые, заклепочные и др. соединения), операции пайки, сварки, склейки т.п.

По объекту сборки технологические процессы подразделяют на сборки узловые и сборки общие.

По последовательности сборки технологические процессы подразделяют на:

- сборки последовательного типа, или сборки с базовой деталью;
- сборки параллельного типа или сборки веерные:
- комбинированные сборки, сочетающие в себе элементы сборки с базовой деталью и элементы веерного типа.

Технологические процессы сборки можно также классифицировать по целостности соединения (разъемные и неразъемные), по подвижности соединяемых составных частей (подвижные и неподвижные), по формам соединяемых составных частей (плоские, цилиндрические и др.), по методу образования соединений (резьбовое, штифтовое, заклепочное, сварное и др.), по автоматизации (ручная, механизированная, автоматическая), по методу обеспечения точности сборки (с полной взаимозаменяемостью, селективная, с пригонкой, с компенсационными материалами или деталями).

10.2 Технологическая схема сборки

Разработку технологического процесса сборки электронных средств целесообразно начинать с разработки технологической схемы сборки, которая наглядно дает возможность технологу оценить правильность выбора последовательности сборки, определить узкие места в технологическом цикле, выбрать решение, обеспечивающее оптимальную загрузку рабочих мест с минимальными экономическими показателями.

При разработке технологического маршрута сборки ЭС определяют последовательность выполнения технологических операций и состав средств техно-

логического оснащения сборки. На последовательность сборки оказывают влияние различные факторы: конструкция, масса и размеры собираемого изделия и его составных частей, тип производства и программа выпуска изделий, функциональная взаимосвязь элементов и степень их взаимозаменяемости, точность сборки и методы ее достижения, степень расчлененности изделия на отдельные узлы, условия сборки и др.

Последовательность сборки изделия в наглядной форме представляют в виде технологической схемы сборки.

В настоящее время при сборке ЭС наибольшее применение нашли схемы сборки «веерного типа» и схемы сборки с базовой деталью, а также комбинации на их основе.

Пример построения схемы сборки «веерного типа» и схемы сборки с базовой деталью условного изделия приведены в соответствии с рисунками 10.1 и 10.3.

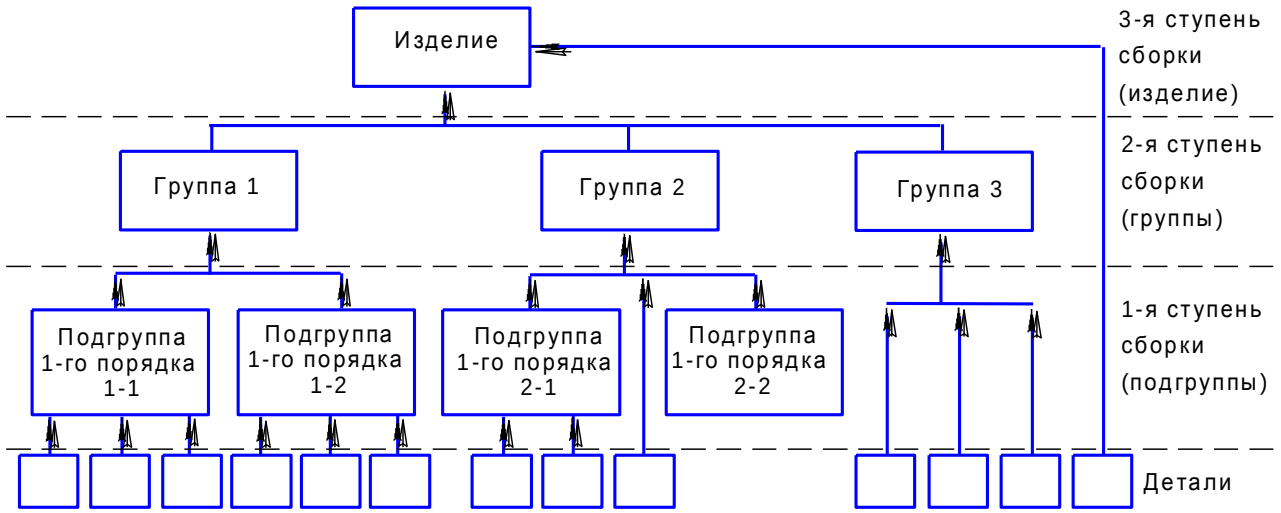


Рисунок 10.1 – Схема сборки «веерного» типа

В данных схемах ***группой*** условно называют сборочные единицы, непосредственно входящие в изделие. Все остальные сборочные единицы, собираемые до образования ***группы***, называют ***подгруппами*** разного порядка. Подгруппа может в свою очередь состоять из отдельных деталей, одной или нескольких подгрупп. Подгруппы, расположенные в самом низу схемы, т.е. на первой ступени сборки делятся только на детали.

Количество подгрупп зависит от сложности изделия и порядка его сборки.

Схемы сборки «веерного типа» целесообразно использовать в серийном и массовом производствах для изделий, конструкция которых имеет соответствующее расчленение на группы. На данных схемах стрелками показывают направление сборки деталей и узлов.

Схемы сборки с базовой деталью целесообразно использовать в мелкосерийном и единичном производстве, а также в серийном и массовом производ-

ствах для изделий, конструкция которых не имеет соответствующего расчленения на группы. При такой сборке необходимо выделить базовый элемент, т.е. базовую деталь, подгруппу, группу. В качестве базовой обычно выбирают ту деталь, поверхности которой будут использованы при установке в готовое изделие или при креплении узла к ранее собранным узлам. В большинстве случаев базовой деталью служит плата, панель, шасси.

На технологических схемах сборки каждый элемент изделия условно показывают в виде прямоугольника (в соответствии с рисунком 10.2), в котором указывают наименование изделия, его обозначение и количество. При необходимости на схемах помещают дополнительные надписи, определяющие содержание операций (паять, совместно сверлить, регулировать и т. д.).

При разработке технологических процессов сборки ЭС технологические схемы составляют в нескольких вариантах, отличающихся по структуре и по последовательности комплектования сборочных элементов. Выбор варианта производят с учетом экономической целесообразности, удобств и других конкретных условий производства.

Технологические схемы сборки дают наглядное представление о сборочных свойствах изделия (в том числе о технологичности) и возможностях организации процесса сборки ЭС.

При разработке технологической схемы сборки необходимо соблюдать следующие правила:

- вначале разрабатывают технологические схемы общей сборки изделия;
- технологические схемы сборочных единиц разрабатывают исходя из предположения, что они могут отдельно собираться, храниться, контролироваться и т.д.;
- минимальное количество деталей, необходимых для образования сборочной единицы низшей ступени сборки, равно двум;
- минимальное количество деталей, необходимых для образования сборочной единицы высшей ступени сборки, равно единицы;
- технологическую схему общей сборки изделия разрабатывают при условии образования наибольшего количества сборочных единиц;
- каждая последующая ступень сборки не может быть образована без наличия предыдущей ступени сборки.

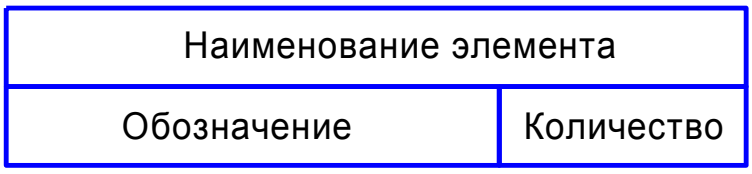


Рисунок 10.2 – Условное обозначение элементов изделия на технологических схемах сборки

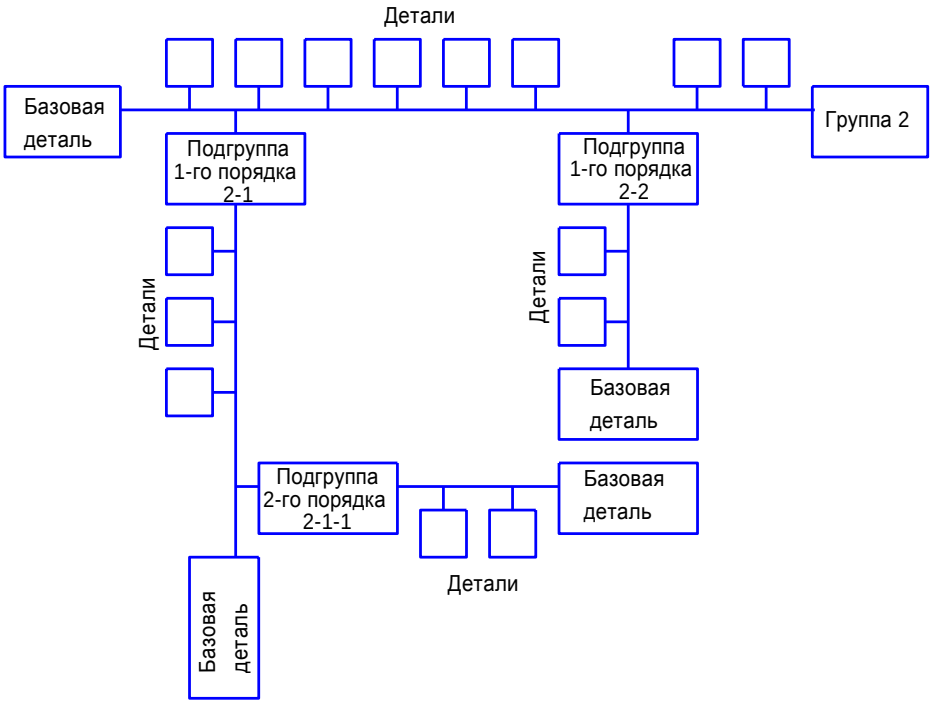


Рисунок 10.3 – Технологическая схема сборки с базовой деталью

10.3 Технологический процесс сборки

В общем случае технологический процесс сборки ЭС состоит из следующих этапов, которые могут одновременно являться технологическими операциями, или состоять в свою очередь из нескольких операций:

- комплектовочный этап – комплектуется рабочее место (места) всеми деталями, сборочными единицами, покупными изделия и материалами в соответствии со спецификацией собираемого изделия, а также необходимыми вспомогательными материалами, используемыми при сборке;
- расконсервация и входной контроль (при необходимости) всех поступивших на сборку деталей, сборочных единиц, покупных изделий и материалов;
- сборочный этап – одна или несколько операций в зависимости от типа производства и специфики собираемого изделия;
- регулировочный этап – одна или несколько операций по регулировке и испытанию собранного изделия с целью получения требуемых конструкторской документацией параметров;
- контрольный этап – одна или несколько операций по контролю соответствия собранного изделия требованиям конструкторской документации;
- заключительный этап – упаковка или укладка собранного изделия в соответствующую тару для транспортировки на реализацию изготовленной продукции или передачу на вышестоящую сборку в другое подразделение предприятия.

Технологические методы сборки определяется степенью взаимозаменяемости составных частей собираемого изделия. Степень взаимозаменяемости

составных частей изделия характеризуется их точностью (геометрической или электрической).

Сборка с полной взаимозаменяемостью – признак наиболее высокой технологичности конструкции. Процесс сборки данным методом сводится к простому соединению составных частей без дополнительных процессов обработки или подгонки. Применение данного метода существенно упрощает организацию сборки, позволяет автоматизировать процесс и упрощает проблему запасных частей для ремонта, но требует высокой точности изготовления всех составных частей.

Селективная сборка предполагает сортировку составных частей по группам допусков в соответствии с заранее установленными границами параметров (геометрическими или электрическими). В данном методе составные части изготавливают с меньшей точностью, далее сортируют на отдельные группы и затем подбирают на сборку изделия из сформированных групп, обеспечивая тем самым собираемость изделия. Данный метод применяют, когда изготавливают партию составных частей из которых затем происходит подбор на сборку, а также когда технологическое оборудование предприятия не обеспечивает точного изготовления составных частей для сборки с полной взаимозаменяемостью.

Сборка с пригонкой – предполагает, что для требуемой точности сборки собираемых составных частей, отдельные детали или сборочные единицы подвергают в процессе сборки доработке, например подгонке размера. Метод применяют, когда по условиям изготовления изделия разрешается в процессе сборки доработка составных частей по размерам или другим параметрам, что позволяет изготавливать составные части с меньшей точностью. Однако введение доработки нарушает цикл сборочного процесса и снижает производительность труда.

Сборку с применением компенсационных деталей и (или) материалов выполняют путем изменения или введения величины компенсирующих деталей (шайб, прокладок, втулок и др.) и (или) материалов (резины, пластмассы и др.). Данный метод позволяет использование при сборке составных частей с невысокой точностью изготовления, но при этом усложняется конструкция и увеличивается трудоемкость и время сборочной операции.

Вопросы для самоконтроля к разделу 10

1 Какие операции могут входить в состав сборочного процесса.

2 Как можно классифицировать процессы сборки.

3 Назначение технологической схемы сборки.

4 Когда целесообразно применять сборку «веерного типа».

5 Что представляет собой условное обозначение элементов изделия на технологической схеме сборки.

6 Назначение комплектовочного этапа сборки.

7 Преимущества и недостатки метода сборки с полной взаимозаменяемостью

8 Назначение компенсационных деталей

Перечень рекомендуемой литературы и нормативной документации

[1] Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие для вузов /С.Е. Ушакова, В.С. Сергеев, А.В. Ключников, В.П. Привалов; под ред. С.Е. Ушаковой;– Москва: Радио и связь, 1986. – 256 с. - Текст: непосредственный

[2] Юрков Н.К. Технология производства электронных средств: учебник для вузов / Н.К. Юрков; – 2-е изд., испр. и доп. – Санк-Ппетербург: Лань, 2014. – 474 с. - Текст: непосредственный

[3] Томилин В.И. Физико-химические основы технологии электронных средств: учебник / В.И. Томилин; – Москва: Академия, 2010. – 410 с. - Текст: непосредственный.

[4] Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: учебник для вузов/ И.П. Бушминский, О.Ш. Дутов, А.П. Достанко и др.; под ред. А.П Достанко, Ш.М. Чабдарова ;– М.: Радио и связь, 1989. – 623 с. - Текст: непосредственный.

[5] Селиванова З.М. Технология радиоэлектрорнных средств: учебное пособие/ З.М. Селиванова. – Тамбов: изд-во Тамбовского государственного университета, 2010. – 80с. Текст: непосредственный

[6] Вайспапир В.Я., Галенчикова О.А. Технология радиоэлектронных средств: практикум./ В.Я. Вайспапир, О.А. Галенчикова; - Новосибирск, СибГУТИ. 2008. – 72 с. Текст: непосредственный

[7] Вайспапир В.Я. Стандартизация конструкторской документации: учебное пособие/ В.Я. Вайспапир. – Новосибирск, СибГУТИ. 20020. – 168 с. Текст: непосредственный.

[8] ГОСТ 3.1103-2011. ЕСТД Основные надписи. Общие положения

[9] ГОСТ 3.1118-82 ЕСТД Формы и правила оформления маршрутных карт

[10] ГОСТ 3.1109- 82 ЕСТД Термины и определения основных понятий.

[11] ГОСТ 3.1128 – 93 ЕСТД Общие правила выполнения графических технологических документов

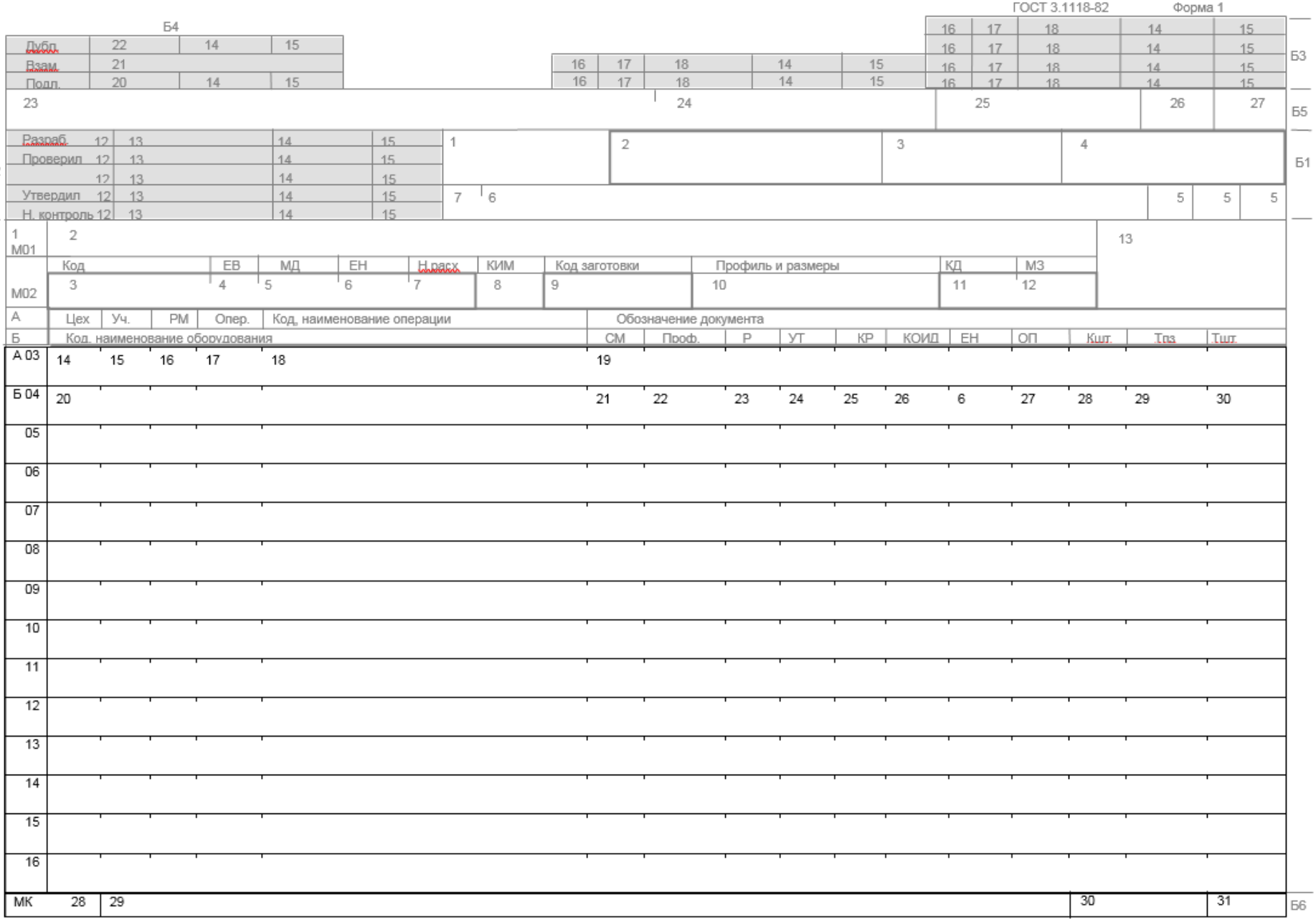
Приложение А
(обязательное)

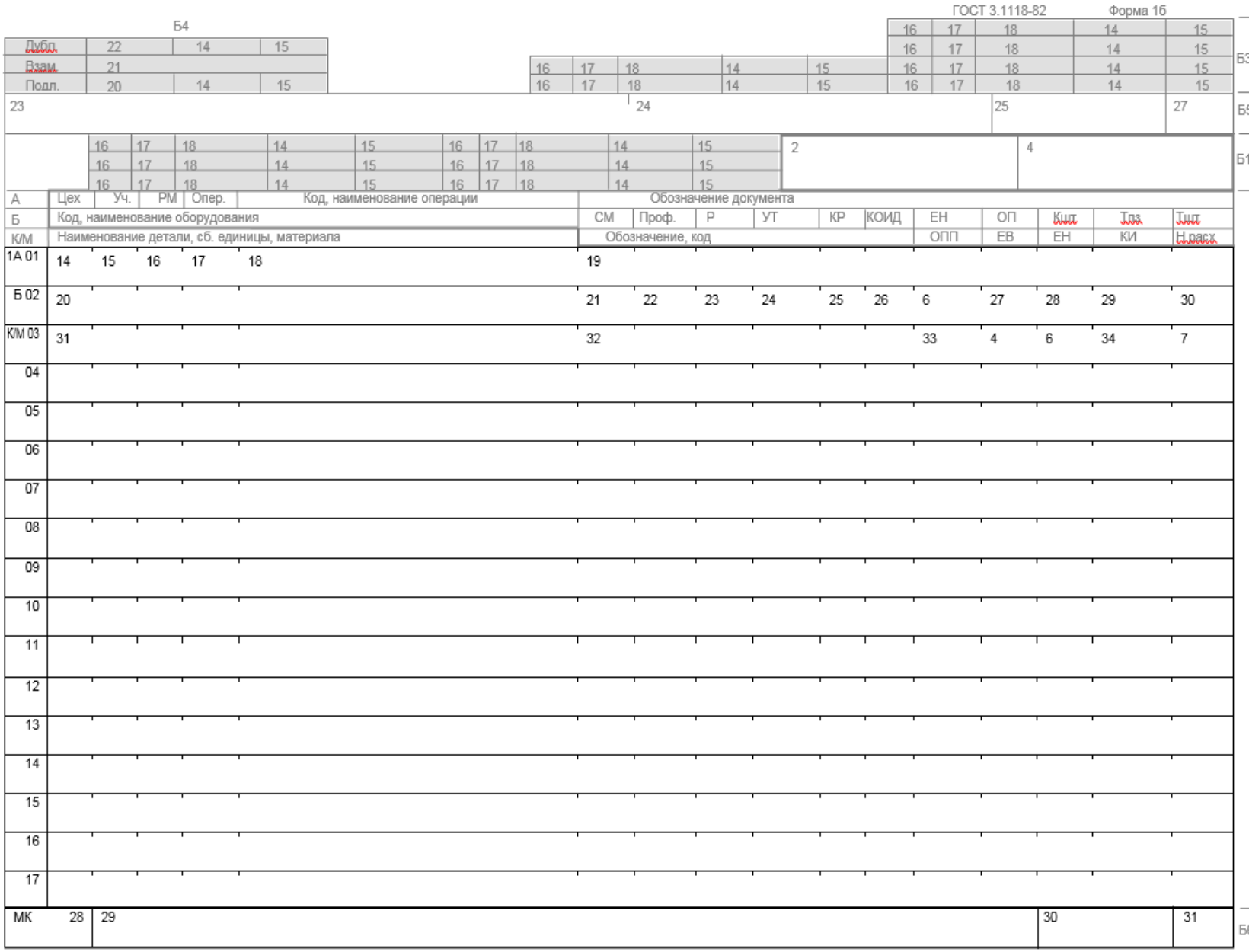
Формы маршрутных карт

В данном приложении приведены следующие формы маршрутных карт:

- форма1 с номерами граф и фоном на блоках Б2, Б3 и Б4, предназначенная для изучения правил оформления маршрутной карты;
- форма 1б с номерами граф и фоном на блоках Б2, Б3 и Б4, предназначенная для изучения правил оформления маршрутной карты;
- форма 2 с номерами граф и фоном на блоках Б2, Б3 и Б4, предназначенная для изучения правил оформления маршрутной карты;
- форма 1 без номеров граф и без фона на блоках Б2, Б3 и Б4, предназначенная для непосредственного использовании при разработке маршрутной карты;
- форма 1б без номеров граф и без фона на блоках Б2, Б3 и Б4, предназначенная для непосредственного использовании при разработке маршрутной карты;
- форма 2 без номеров граф и без фона на блоках Б2, Б3 и Б4, предназначенная для непосредственного использовании при разработке маршрутной карты.

П р и м е ч а н и е – В данном учебном пособии формы приведены в виде рисунков. При проектировании реальных маршрутных карт их следует выполнять на форматах А4 с полями по периметру форм равными примерно 5 мм.


Б4
Дубл.
Взам.
Подл.
Б3
Б5
Разраб.
Проверил
Утвердил
Н. контроль
Б2
Б1
М01
М02
Код
ЕВ
МД
ЕН
Н.расх.
КИМ
Код заготовки
Профиль и размеры
КД
МЗ
А
Б
Цех
Уч.
РМ
Опер.
Код, наименование операции
Обозначение документа
Код, наименование оборудования
СМ
Проф.
Р
УТ
КР
КОИД
ЕН
ОП
Кшт.
Тпз
Тшт.
А 03
Б 04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
МК
Б6


Б4
Дубл.
Взам.
Подл.
22
21
20
14
15
16
17
18
23
24
25
27
Б3
Б5
Б1
2
4
А
Б
К/М
Цех
Уч.
РМ
Опер.
Код, наименование операции
Код, наименование оборудования
Наименование детали, сб. единицы, материала
Обозначение документа
СМ
Проф.
Р
УТ
КР
КОИД
ЕН
ОП
Кшт
Тпз
Тшт
Обозначение, код
ОПП
ЕВ
КИ
Нрасх
1А 01
Б 02
К/М 03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
19
20
21
22
23
24
25
26
6
27
28
29
30
31
32
33
4
6
34
7
МК
28
29
30
31
Б6

Б4

Дубл.	22	14	15
Взам.	21		
Подл.	20	14	15

16	17	18	14	15
16	17	18	14	15

Б3

16	17	18	14	15
16	17	18	14	15

23	24	25	26	27

Б5

Разраб.	12	13	14	15	1	2	3	4
Проверил	12	13	14	15				
	12	13	14	15				
Утвердил	12	13	14	15	7	6	5	
Н. контр.	12	13	14	15				

Б2 Б1

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа												
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт		
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.		
1 А 01	14	15	16	17	18	19												
Б 02	20					21	22	23	24	25	26	6	27	28	29	30		
К/М 03	31					32						33	4	6	34	7		
04																		
05																		
06																		
07																		
08																		
09																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		

МК	28	29	30	31

Б6

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

| | | |

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1б

| | | |

ГОСТ 3.1118-82 Форма 2

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

Разраб.			
Проверил			
Утвердил			
Н. контр.			

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. раск
А 01																
02																
03																
04																
05																
06																
07																
08																
09																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
МК																

Учебное пособие

Вадим Яковлевич Вайспапир

Технология производства электронных средств

Редактор: Фадеева Н.Е.
Корректор: Шерстнёва А.Р.

Подписано в печать 10.12.2020
Формат бумаги 62 ×84/16, отпечатано на ризографе, шрифт №14,
п.л. – 7,6, заказ № 89, тираж – 50, электронная версия – 3,2 Мб

Отдел рекламы и PR СибГУТИ
630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, офис 318
тел.(383)269-83-18