

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева

Р.А.Вечканова, Н.М.Гаддина

К О Н С Т Р У И Р О В А Н И Е У С Т Р О Й С Т В
С В Ч

Учебное пособие

Куйбышев 1981

В е ч к а н о в а Р.А., Г а л д и н а Н.М. Конструирование устройств СВЧ: Учебное пособие. - Куйбышев: КуАИ, 1981, - с. 89

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов дневного и вечернего отделений радиотехнического факультета Куйбышевского авиационного института, выполняющих дипломное и курсовое проектирование по курсам "Антенны и устройства СВЧ" и "Конструкции экранов и СВЧ устройств". В пособии кратко изложены основы проектирования СВЧ устройств, задачи, стоящие перед разработчиками, конструкторами и технологами, этапы процесса проектирования, понятие технологичности конструкции, основные факторы, оказывающие влияние на конструкцию СВЧ устройства, общие требования к конструкциям.

В пособии приведены справочные данные по проводниковым и диэлектрическим материалам, широко используемым при производстве СВЧ устройств, рекомендации по их выбору; способы защиты СВЧ устройств от климатических воздействий, способы соединений деталей и узлов СВЧ; справочные данные по используемым в узлах СВЧ припоям, клеям; порядок маркировки устройств, краски маркировочные.

В приложении приведены классы и параметры шероховатостей поверхностей и связь их с классами точности при различных видах обработки, таблица допусков и посадок, примеры конструкций радиочастотных соединителей, коаксиально-полосковых и волноводно-полосковых переходов.

Темплан 1981 г., поз. № 1526.

Рецензент А.В. К л о ч к о в

Утверждено на редакционно-издательском совете института 13.II.80 г.



Куйбышевский авиационный институт, 1981

В В Е Д Е Н И Е

Современный этап научно-технической революции характеризуется созданием сложной радиоэлектронной аппаратуры, выполняющей разнообразные функции. В последние годы интенсивно развивается техника сверхвысоких частот (СВЧ). Продолжается внедрение СВЧ в народное хозяйство, космическую и военную технику. Неуклонно возрастает объем выпуска и разнообразие устройств СВЧ, развиваются и совершенствуются конструкции и технология изготовления элементов и устройств СВЧ с целью повышения их надежности, уменьшения экономических затрат, уменьшения габаритно-весовых параметров.

Требования к СВЧ устройствам определяются назначением и требованиями, предъявляемыми к комплексу радиоэлектронной аппаратуры, составными частями которой являются упомянутые СВЧ устройства. Предъявляемые к ним требования можно разделить на три основные группы:

технические - рабочий диапазон частот, точность, чувствительность, ослабление, коэффициент усиления, быстродействие и др.;

экономические - затраты на капиталовложения, эксплуатацию, обслуживание;

эксплуатационные - надежность, место установки (наземное, корабельное оборудование, летательные аппараты), условия работы (климатические, механические, радиационное облучение).

Все эти требования регламентируются ГОСТами, являются взаимосвязанными и в то же время противоречивыми. В силу этого процесс проектирования и производства СВЧ устройств - сложная комплексная задача, решением которой является выбор оптимального варианта. Сложные задачи оптимизации могут быть успешно решены только с помощью ЭВМ.

Специфика проектирования СВЧ устройств обусловлена тесной связью между электродинамическими характеристиками устройства, техническими параметрами конструкции СВЧ, технологическим процессом изготовления, выбором конструкционных материалов. Например, увеличение массы позволяет в некоторых случаях получить требуемые характеристики и параметры объемных резонаторов, фильтров, антенн, работающих на открытом воздухе, уменьшать их чувствительность к вибрациям и тряскам, облегчить термостатирование и охлаждение. Но большие массы и габариты делают конструкцию неприемлемой для использования на летательных аппаратах.

В настоящее время отсутствуют учебники по конструированию СВЧ устройств, что существенно усложняет процесс конструирования студентами узлов СВЧ при курсовом проектировании. Предлагаемое пособие, в котором сжато изложены основы и этапы проектирования, собраны некоторые необходимые при конструировании СВЧ узлов справочные данные, позволит студентам более грамотно подойти к вопросам конструирования и облегчит выполнение курсовых и дипломных проектов.

1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СВЧ

В работе по проектированию устройств СВЧ принимают участие (в той или иной мере) разработчик, конструктор и технолог. Значимость этих специалистов различна на разных стадиях проектирования.

Задачами конструктора являются:

- выделение главных определяющих требований и зависимых от них;
- распределение всех требований по степени важности для данного устройства (с учетом требований к радиоэлектронной аппаратуре, в которой используется устройство);
- разработка конструкции, оптимально удовлетворяющей комплексу предъявляемых требований.

Весь процесс проектирования может быть разбит на 3 этапа.

I этап - электродинамический расчет. На этом этапе инженер-разработчик знакомится с техническим заданием, анализирует предъявляемые к устройству требования (технические, экономические, эксплуатационные); проводит электродинамические расчеты с учетом условий эксплуатации, определяющих схемное решение устройства, разрабатывает принципиальную или функциональную схему; эскизную конструкцию, обеспечивающую заданные электродинамические характеристики и параметры (частотную характеристику, диаграмму направленности, коэффициент усиления, ослабление по каналам и плечам, потери преобразования и т.п.), анализирует электродинамические расчеты, определяет требования к свойствам материалов, предназначенных для реализации выбранной конструкции.

На последующих этапах инженер-разработчик утверждает окончательное художественно-конструкторское решение.

II этап - конструктивный расчет. Здесь инженер-конструктор выполняет работу по выбору конструктивного решения и разработке рабочих чертежей устройства. Он производит конструктивные расчеты для получения исчерпывающих сведений о геометрии изделия, размерах, производственных допусках, выявляет состав узлов и деталей разра-

батываемого устройства, осуществляет выбор материалов и покрытий (см. разделы 2-5), конструкций стенок, полостей и т.п., находящихся в контакте с электромагнитным полем и непосредственно определяющих основные технические (электродинамические) характеристики, компоновку узла СВЧ, в процессе которой решаются следующие основные задачи: выбор формы, основных геометрических размеров и расположения узла в пространстве, ориентировочное определение веса. Затем инженер-конструктор составляет компоновочный эскиз (иногда без точного соблюдения масштаба), который носит характер рисунка и часто выполняется от руки; по компоновочному эскизу выбирает оптимальные размеры и формы узлов; оптимизацию схемы и конструкции устройства СВЧ с целью улучшения параметров, повышения надежности, технологичности и т.п.

Перечисленные работы инженер-конструктор выполняет при участии инженера-разработчика, что выражается в совместных беседах, обсуждениях принятого технического решения при разработке рабочих чертежей.

III этап - детализирование. Инженер-конструктор осуществляет детальную проработку конструкции с учетом технических условий. На этом этапе в работу включается технолог. В процессе работы определяют форму и размеры деталей, составляющих конструкцию СВЧ устройства, с установлением классов точности и шероховатости поверхности, проводят работы по нормализации и типизации элементов конструкции, учет требований к настройке, регулировке, ремонтпригодности (например, обеспечение удобства замены вышедшего из строя полупроводникового диода СВЧ в детекторной головке или смесителе) и т.п.; анализируют разработанную конструкцию на технологичность (см. ниже), производят окончательную доводку конструкции с учетом рекомендаций по защитным декоративным покрытиям, маркировки устройства, по технологическому процессу и его отдельным операциям (например, паять ПСОС60 и т.п.), подробно разрабатывают технологию изготовления каждого элемента и узла.

Технологичность конструкции - это такое ее качество, которое позволяет применить прогрессивные методы технологии и организации производственных процессов, обеспечивающие высокую производительность труда и минимальную себестоимость при соблюдении заданных конструктивно-эксплуатационных требований. Все разработанные конструктором чертежи должны быть согласованы с точки зрения их технологичности не только с разработчиком, но и с технологом. Анализ чертежей на технологичность устройства СВЧ включает:

минимальное количество марок и типоразмеров материалов;
сокращение номенклатуры и количества применяемых дорогостоящих и дефицитных материалов;

обоснованное определение классов чистоты и точности изготовления деталей;

использование унифицированных стандартных и нормализованных деталей и узлов;

применение наиболее прогрессивных методов заготовительных, сборочных и контрольных операций;

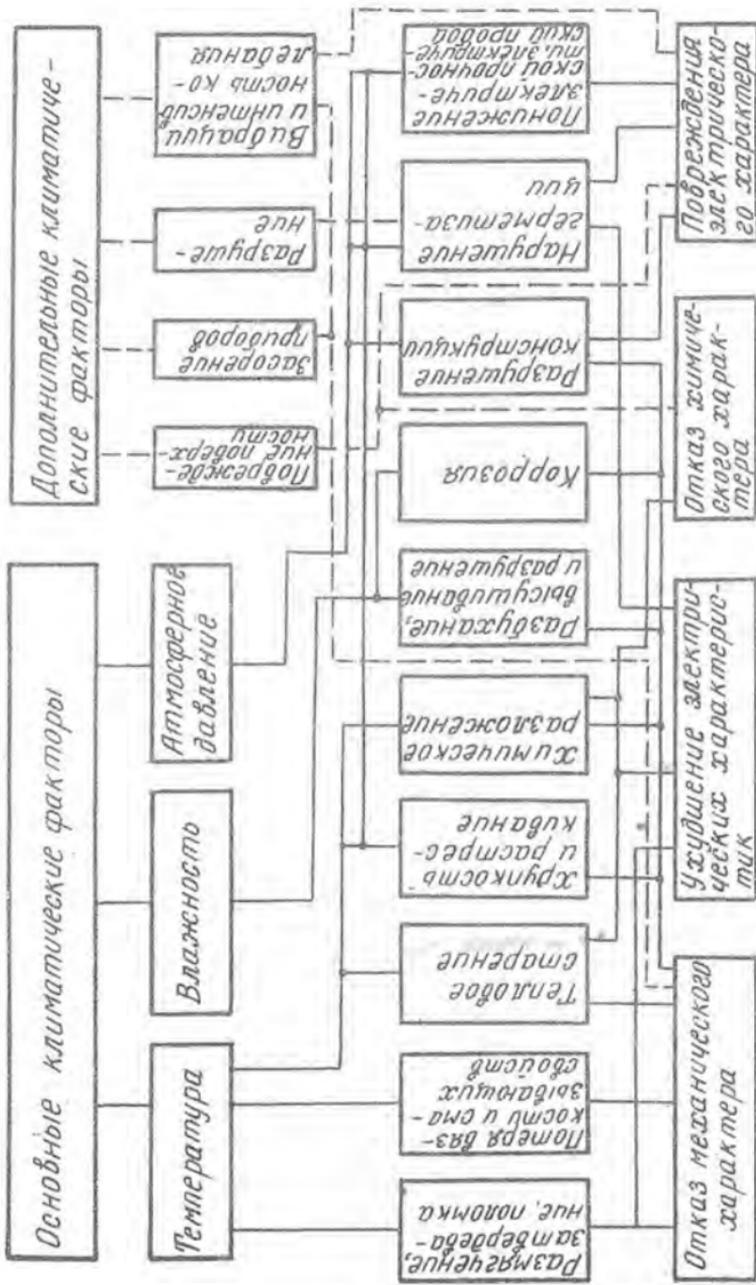
применение типовых технологических процессов;

использование стандартного и нормализованного технологического оборудования и оснащения;

механизация и автоматизация процессов изготовления устройства.

Все это производится с учетом программы выпуска изделий и конкретных условий завода-изготовителя.

Основными факторами, определяющими конструкцию СВЧ устройства, являются, в первую очередь, принцип действия электрической схемы, реализованной в устройстве, назначение устройства, рабочий диапазон частот, уровень мощности и условия эксплуатации. Кроме того, на конструкцию оказывают влияние производственные факторы и, в частности, технология изготовления. Внешние воздействия вызывают как обратимые, так и необратимые изменения параметров устройств СВЧ. На рис. I приведена диаграмма, характеризующая климатические воздействия на радиоэлектронную аппаратуру (РЭА). Как видно из рисунка, при климатических воздействиях наблюдается не только ухудшение электрических параметров, но и механические повреждения и поломки. Большое влияние на стабильность параметров устройств СВЧ оказывает температура окружающей среды. Под воздействием температуры изменяются линейные размеры колебательных систем и других деталей, взаимное положение деталей и физико-химические свойства материалов. Влажность оказывает влияние, как на диэлектрические материалы, так и на металлы. Поглощая влагу, диэлектрические материалы в той или иной степени изменяют свои свойства. Попадая на поверхность металла, влага вызывает появление коррозии, способной разрушить металлические покрытия и проводники малых сечений. Механические воздействия на устройства СВЧ вызывают в элементах конструкции упругие деформации и соответствующие им изменения механических и электрических характеристик. Уменьшить влияние механического воздействия на



Р и с. 1. Диаграмма климатических воздействий

работу СВЧ устройства можно путем повышения механической прочности и жесткости конструкции, а также размещения устройства на литом каркасе в блоке с амортизацией. Отклонение основных параметров устройства СВЧ, вызываемое механическими и климатическими воздействиями, должно происходить в допустимых пределах, оговоренных техническими условиями.

При конструировании устройства СВЧ необходимо руководствоваться следующими общими требованиями:

1. Отдельные элементы и детали устройства должны иметь устойчивые контактные соединения с малыми переходными ослаблениями в различных условиях эксплуатации. Число таких соединений должно быть минимальным (без учета сварных и паяных соединений). Это уменьшит нестабильность параметров устройства в процессе эксплуатации.

2. Длина соединительных отрезков линии передачи должна быть минимальной для уменьшения потерь и частотной зависимости параметров.

3. Органы регулировки должны иметь доступ в рабочих условиях, обеспечивать удобство работы с ними.

4. Конструкция должна обеспечивать возможность замены входящих в устройство электровакуумных и полупроводниковых приборов СВЧ.

5. Конструкция должна обеспечивать высокую электрогерметичность, т.е. высокую степень развязки электромагнитных полей внутри и вне электродинамической системы.

6. Конструкция должна иметь малые габариты и массу, малый объем. Уменьшение габаритов и массы повышает мобильность СВЧ блоков, снижает трудоемкость компоновки, снижает стоимость материалов, производства и эксплуатации.

7. Конструкция должна быть механически прочной и жесткой, обеспечивающей виброустойчивость, ударопрочность при механических воздействиях.

8. В конструкции устройства СВЧ должны быть предусмотрены элементы для крепления его в блоке.

9. Конструкция должна обеспечивать сохранение электродинамических параметров в ухудшенных климатических условиях (при изменении температуры окружающей среды, влажности, давления и т.п.) в заданных пределах.

С учетом изложенного наиболее целесообразной является конструкция устройства СВЧ в виде единого автономного узла, размещенно-

го в соответствующем блоке станции. В этом случае одновременно обеспечивается его механическая прочность, жесткость, экранировка от внешних электромагнитных полей.

2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СВЧ УСТРОЙСТВ

2.1. П р о в о д н и к о в ы е м а т е р и а л ы

В качестве проводящих материалов для изготовления СВЧ устройств применяется медь, медные и алюминиевые сплавы, титан и его сплавы, серебро. Основными свойствами проводниковых материалов являются электропроводность, теплопроводность, механическая прочность и тепловое расширение. Величина удельного сопротивления перечисленных металлов невелика. Добавление примесей увеличивает удельное сопротивление. Основные свойства проводниковых материалов для конструкции СВЧ с указанием рекомендуемых способов обработки и типов деталей, коррозионной стойкости приведены в табл. I.

Сокращения графы 9 табл. I означают следующее:

К - корродируют сильно и не могут применяться без защитных покрытий;

КС - корродируют слабо, требуют дополнительной защиты при эксплуатации на открытом воздухе;

С - стойки к коррозии при эксплуатации на открытом воздухе, при воздействии водяных брызг и тумана.

Сокращения графы 10 табл. I означают следующее:

ГБ - гибка, ВР - вырубка, ВТ - глубокая вытяжка, СВ - сварка, Л - литье, Р - резание, ХШ - холодная штамповка, ТО - термообработка, К - ковка.

При проектировании СВЧ каскадов к конструкционным материалам предъявляются такие требования, как легкость, немагнитность, высокая стабильность физико-химических свойств и линейных размеров в различных условиях эксплуатации, возможность изготовления деталей малых размеров и сложной формы и т.д. Требование высокой механической прочности не всегда является определяющим.

Выбранный материал для той или иной детали должен не только обладать минимальной массой и удовлетворять заданным условиям эксплуатации, но и обеспечивать технологичность конструкции. Последнее

Проводниковые материалы

Материал, марка	Уд. вес, г/см ³	Теплопроводность, Вт/м·°С	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6 / ^\circ\text{C}$ (20-100°С)	Уд. сопротивление при 20°С, Ом·мм ² /м	Температурный коэффициент сопротивления на 1°С	Сопротивление по сравнению с медью	Температура плавления, °С	Коррозия стойкость	Рекомендуемые способы изготовления деталей	Диапазон применения
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Алюминий А0, А1, А2	2,55- 2,75	204	23,8	0,026	0,004	1,5	658	КС	ХШ	Для токопроводящих деталей, не несущих больших нагрузок (экраны, скобы для крепления, шайбы, шильдики и т.п.)
Алюминиевые сплавы: АД, АД1 Д6, Д16	2,5- 2,94	109- 192	22 - 24					КС	ХШ, СВ ВТ, ГВ, ВР	Для деталей, изготовляемых механической обработкой
АМц								КС	ВР, ГВ, СВ, ТО	Корпусы, кронштейны, фланцы, втулки, штуцеры, корпусы разъемов
АМг2								КС	ВР, ГВ, Р, СВ	

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АЛ2, АЛ7, АЛ9								КС, С	Л, Р, СВ	Корпусы и др. детали слож- ной формы, изготавли- ваемые лить- ем
Медь М1, М3	8,94	384	16,6-17,1	0,0175	0,004	I	1083	КС	СВ, Р	Трубы, кор- пусы
Медные сплавны:										
Дякунь- ДС59-1	8,4- 8,85	85	17,8- 18,2	0,07	0,002	4	900	КС	Р, ГВ ВР, К	Для деталей простой кон- фигурации (штулки, тройники, винты, гайки и т.п.)
Л62								КС	ХШ, Р, СВ, ВТ	Для деталей изготовлен- ных механи- ческой обра- боткой (флан- цы, диафрагмы и т.п.), тру- бы волновод- ные
Л96								КС	Р, ВТ СВ, ВР	
Бронза-	7,7- 8,8	64	17,6	0,115	0,004	6,6	900	КС	Р, СВ	Пружины кон- тактных и дроссельных плунжеров, контакты разъемов, центры и т.п.
БР АЖ9-4										

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Бр АМц9-2								КС	Р, ГЕ, ВР, СВ	Для особо ответствен- ных элемен- тов (кон- тактыне пружины, панги и др. контакты) Для деталей сложной фор- мы, обладающ. высокой прочностью, работ. в ус- ловиях вы- соких тем- ператур (около 90°С), имеющих ма- лый вес
Бр КМц3-1							С	ВР, ГЕ, Р, СВ		
Бр Б2 Бр ОФ6, 5- -0, 15							С	пайка		
Магниево сплав МЛ5, МЛ5	1,76- 1,83	75-134	23,7-26	-	-	-	650	К	Л, Р	

Окончание табл. I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Титан ВТ1-0	4,5	16,3	8	-	-	-	1660	С	ГБ, ВР, СВ	Корпусы для по- лосковых и микро- полоско- вых линий и др. уст- ройств, где тре- буется сочета- ние с ке- рамикой
Титановые сплав ВТ3-1	4,5	8	8,6					С	ГБ, ВР, Р, СВ, Ю	
ВТ5-1	4,5	7,5	8,3					С		
Серебро	10,4- 10,7	410	19,6	0,016	0,0036	0,92	960	КС, С	ГБ, Р, СВ, пайка	Для кон- тактов (отз.), в качестве проводя- щего и антикор- розивно- го по- крытия
Золото	19,3	290	14,4	0,024	0,0037	3,3	1064	С	пайка	

важно в том случае, когда функциональные требования позволяют осуществить широкий выбор материалов для изготовления детали. Наиболее целесообразными технологическими процессами для конструктивного выполнения СВЧ устройств при серийном производстве являются литье, штамповка, прессование из пластмасс, а при единичном производстве — обработка резанием (токарная, фрезерование, сверление, шлифование).

Применительно к названным процессам выбираются материалы деталей. Выбор материала всегда определяется согласованием технических, технологических и экономических требований.

Для изготовления волноводных, коаксиальных СВЧ устройств чаще всего используются латунь и алюминий с последующим нанесением соответствующих покрытий. Применение алюминия и его сплавов позволяет значительно снизить вес СВЧ устройств. Элементы сложной конфигурации, такие как волноводные антенны с вращающейся поляризацией, свернутые Т-мосты, сложные по конфигурации соединительные отрезки волноводов с малыми размерами сечения и т.п. изготавливаются методом гальванического наращивания меди.

Для изготовления сложных объемных деталей часто применяется литье. В этом случае целесообразно применять легкие алюминиевые сплавы, что позволяет существенно уменьшить вес устройства и его габариты. Алюминиевые литейные сплавы АЛ2, АЛ7, АЛ8, АЛ9 также хорошо обрабатываются резанием и удовлетворительно сопротивляются коррозии. Алюминиевые сплавы АД и АД1 характеризуются высокой пластичностью, электро- и теплопроводностью, а также стойкостью к коррозии. Они хорошо поддаются обработке давлением. Применяются для изготовления полых деталей, обрамлений, корпусов, шайб, прокладок и т.п.

Сплав алюминия с медью (дюралюминий) обладает свойствами алюминия, но значительно тверже и прочнее его. Сплав Дб характеризуется повышенной прочностью, но невысокой пластичностью. Применяется для изготовления труб. Сплав Д1б сочетает высокую прочность с высокой пластичностью и удовлетворительной свариваемостью. Применяется для изготовления фланцев, крышек, экранов, каркасов, рефлекторов, а также деталей глубокой вытяжки и профильной гибки.

Медь обладает высокой прочностью и электропроводностью. Из меди изготавливают детали сложной формы методом гальванического наращивания. Выпускаемая промышленностью медь марок М1, М2 и М3 используется для изготовления контактных пластин, прокладок, шайб, труб, кожухов и т.п.

Латунь обладает пластичностью, вязкостью, хорошо поддается пайке, штамповке, механической обработке.

Л62 обладает высокой пластичностью и коррозионной стойкостью при достаточной прочности. Хорошо паяется и обрабатывается резанием. Применяется для изготовления фланцев, волноводов, экранов, корпусов, стаканов, контактных вилок, шайб и т.п.

Л68 хорошо обрабатывается давлением как в холодном, так и в горячем состоянии. Применяется для изготовления деталей, не требующих высоких механических свойств.

Л90 обладает хорошими механическими свойствами и стойкостью против коррозии. Применяется для деталей, несущих большие механические нагрузки.

ЛС59-I характеризуется высокими механическими свойствами и коррозионной устойчивостью. Хорошо паяется, сваривается, обрабатывается резанием. Применяется для изготовления деталей-разъемов, фланцев, шайб, втулок и т.п.

Бронза - сплав меди с различными металлами.

Фосфористая бронза БрОФ6,5-0,15 - прочная, твердая, кислотоупорная. Обладает хорошими пружинящими свойствами, применяется для изготовления токопроводящих пружин, скользящих контактов и т.п.

Кадмиевая БрКМц3-I обладает хорошей электропроводностью и механической прочностью до температуры + 250°C. Применяется для изготовления коллекторных пластин.

Бериллиевая бронза БрБ2 имеет большую механическую прочность и хорошее сопротивление истиранию. Применяется для изготовления особо ответственных элементов (скользящих контактов, токопроводящих пружин, пластин переключателей и т.п.).

Бронзы паяются и имеют хорошие антикоррозионные свойства.

Алюминиевые бронзы БрАМц9-2, БрАЖ9-4 и др. имеют меньший удельный вес, особенно по сравнению с оловянистой бронзой (примерно в 1,13 раза), лучше обрабатываются резанием. Однако они хуже паяются и имеют меньшую коррозионную стойкость, не термообрабатываются. Поэтому они применяются для деталей, работающих на трение (колеса шестерни, червяки, антифрикционеры и т.п.), а также для пружинящих контактных деталей разового пользования, работающих с малыми усилиями.

Для деталей ответственных узлов, выдерживающих значительные усилия, многократные соединения и разъединения (например, контакты разъемов, гнезда) целесообразно применять бериллиевые бронзы.

Магниеиые сплавы — легкие конструкционные материалы (в 1,5 раз легче алюминия, в 5 раз легче медных сплавов) обладают высокими механическими свойствами в широком диапазоне температур, практически не дают изменению размеров в условиях эксплуатации до 240°C, обладают стойкостью в отношении атмосферных воздействий и химических веществ (кислот), большой амортизирующей способностью. Детали из магниевых сплавов изготавливают литьем. Магниеиые сплавы паяются с некоторыми затруднениями (пайка используется только для ликвидации небольших поверхностных дефектов, возникающих при литье), сильно корродируют.

Титан, титановые сплавы тяжелее алюминия на 60%, обладают меньшей электропроводностью, способностью работать при высоких температурах (до 150–400°C), имеют малую скорость коррозии, высокую химическую стойкость, свариваются и паяются.

Серебро хорошо поддается механической обработке, обладает наибольшей электропроводностью, хорошо паяется. Применяется для изготовления контактов, в качестве проводящего покрытия, а также как антикоррозионное покрытие.

При сопряжении металлических деталей не допускается образование гальванических пар, вызывающих коррозию металла, особенно если детали будут работать при повышенной влажности воздуха.

Допустимые и недопустимые гальванические пары в зависимости от условий эксплуатации приведены в табл. 2.

Соприкасающиеся детали, образующие недопустимые гальванические пары, следует изолировать друг от друга разделительными покрытиями, прокладками, эмалями, лаками. Например, при стыковке алюминиевого фланца с жатунной трубой разделительным покрытием будет Кд21Хр (табл. 6).

На детали, предназначенные для точечной сварки и клепки, покрытия должны наноситься до проведения этих операций. Не рекомендуется наносить покрытия гальваническим, химическим и анодизационным способом на детали, изготовленные методом литья под давлением и по выплавляемым моделям. В этом случае необходимо применять цинковое диффузионное и лакокрасочное покрытие.

Таблица 2

Допустимые и недопустимые контактные пары

Соприка- сающиеся материалы	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		
	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	Н	А	
I	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2
II	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VI	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IX	1	2	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	2	2	1	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XII	2	2	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

П р и м е ч а н и е. Условные обозначения к табл. 2: I - серебро, золото, палладий, родий; П - медь, латунь, бронза; И - никель; IV - хром; У - цинк; VI - кадмий; УП - олово; УШ - нержавеющая сталь хромоникелевая; IX - алюминий и его сплавы оксидированные; X - алюминий и его сплавы; XI - титан и его сплавы; XII - азотированная сталь.

Условия эксплуатации: Н - температура окружающей среды от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $95\% \pm 3\%$ при 30°C (небольшое загрязнение атмосферы); А - температура окружающей среды от -60° до $+60^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $95\% \pm 3\%$ при 35°C (атмосферные осадки, туман, солнечная радиация, загрязнения атмосферы).

Степень коррозии: 0 - коррозия не возникает (допустимая пара); I - возможна незначительная коррозия (можно пользоваться, если контактное соединение надежно герметизировано от воздействия окружающей среды); 2 - при соприкосновении возникает активная коррозия (необходимо применять разделительные защитные покрытия или надежную герметизацию контактного соединения).

2.2. Диэлектрические материалы

Диэлектрические материалы в устройствах СВЧ используются для изготовления разделительных, блокировочных конденсаторов, емкостей фильтров, диэлектрических изоляционных шайб, плат полосковых и микрополосковых линий и т.п.

Основными требованиями, предъявляемыми к диэлектрическим материалам СВЧ, являются малое значение $\text{tg } \delta$ (угла диэлектрических потерь), сохранение диэлектрических и механических характеристик в различных условиях эксплуатации, в частности при воздействии климатических и механических нагрузок. Немаловажное значение имеют обрабатываемость материала и его стоимость.

Для выполнения особо ответственных деталей устройств СВЧ используется фторопласт-4, отличающийся малыми и неизменяющимися диэлектрическими потерями вплоть до диапазона мн воли ($\epsilon = 2,1 - 2,2$; $\text{tg } \delta = 2 \cdot 10^{-4}$), постоянством характеристики в широком диапазоне температур (пригоден для работы при $t = -60 \div +250^{\circ}\text{C}$), высокой химической стойкостью (выше, чем у золота и платины), совершенно не смачивается водой и не набухает, обладает очень низкими коэффициен-

той трения, допускает все виды механической обработки. К недостаткам фторопласта-4 относятся высокая стоимость, большая остаточная деформация под нагрузкой, хладотекучесть. Последнее усложняет механическую обработку фторопласта-4 при изготовлении деталей малых размеров, с тонкими стенками и малыми буртиками (ступеньками). Физико-механические свойства можно улучшить закалкой. Поставляется в виде заготовок по чертежам заказчика, лент и фольгированных плат.

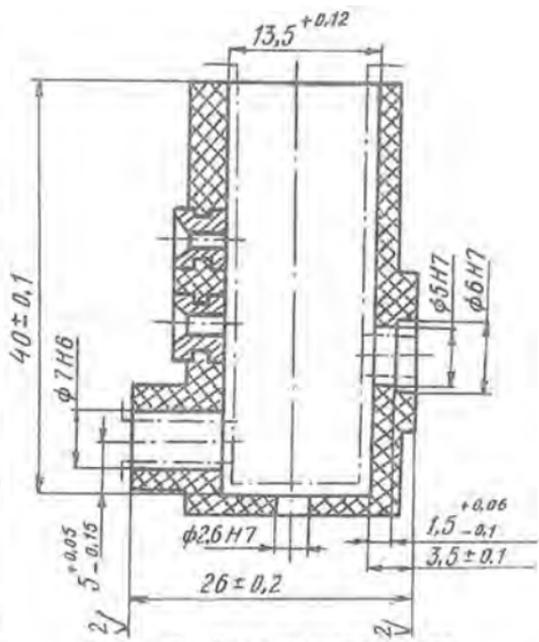
Полистирол - высокочастотный изоляционный материал, $\epsilon = 2,5$ и $tg \delta = 5 \cdot 10^{-4}$, хорошо поддается механической обработке, его максимальная рабочая температура $+70^{\circ}\text{C}$. Недостатки - хрупок, склонен к саморастрескиванию.

Для улучшения механических свойств используется полистирол, наполненный окисью титана - ПТ. В зависимости от процентного содержания титана изменяются ϵ и $tg \delta$ материала. Получили применение ПТ-3, ПТ-5, ПТ-7, ПТ-10, ПТ-16 [8], у которых цифра указывает значение диэлектрической проницаемости (за исключением ПТ-3 - $\epsilon = 2,84$), $tg \delta = (7-9) \cdot 10^{-4}$. Рабочая температура - $60 \div +80^{\circ}\text{C}$.

Для изготовления разделительных конденсаторов в детекторных головках, смесителях может быть использована слюда типа мусковит, являющаяся одним из лучших диэлектрических материалов $\epsilon = 6-8$, $tg \delta = 3 \cdot 10^{-4}$. Толщину диэлектрика выбирают, исходя из требуемой емкости, пробивного напряжения и механической прочности. Кроме мусковита, находит применение синтетическая слюда, обладающая большей нагревостойкостью, чем природная, и имеющая электрические характеристики, как у мусковита. Недостаток - хрупкость.

Для уменьшения веса волноводных и коаксиальных устройств, получения конструктивных форм без дополнительных обработок и отделок, а также с целью экономии цветных металлов применяются специальные терморезистивные пластмассы на основе фенольных, фенолформальдегидных и т.п. смол [2]. Широко применяются конструкционные пластмассы К-2II, а если к деталям предъявляются требования повышенной механической прочности, могут быть использованы пресс-материалы АГ-4, АГ-4В и т.п. Внутренняя поверхность корпуса устройства, изготовленного из пластмассы, металлизирована. Такие устройства из пластмассы, кроме того, обладают более высокой коррозионной стойкостью, не требуют специальной обработки наружной поверхности. На рис. 2 приведена конструкция корпуса резонатора, выполненного методом гальванического наращивания на постоянную оправку с после-

дущей опрессовкой пластмассой. Штрихпунктиром показана металлизированная поверхность. Шероховатость поверхности соответствует $R_a = 1,25-0,63$. Гальванонаращивание и опрессовка производятся в следующей последовательности: предварительно изготавливают стальные (или алюминиевые) оправки, которые после контроля, обезжиривания, сушки, дополнительного обезжиривания влажной известью, промывки в конденсате монтируют на латунную проволоку и помещают примерно на 90 минут (при плотности тока $0,6 \text{ А/дм}^2$) в ванну для наращивания тонкого слоя серебра ($30 \pm 5 \text{ мкм}$).



Р и с.2. Корпус резонатора

После этого производится промывка, контроль, декапирование (легкое травление) в ванне и вновь промывка. Затем детали помещаются в ванну для наращивания слоя меди толщиной $0,3-0,4 \text{ мм}$ (время наращивания $24-36 \text{ часов}$). Далее следует промывка, контроль и лужение (в стальной ванне с подогревом) для облегчения процесса пайки разъемов. Вновь — промывка и контроль. Опайка мест стыков оправок, зачистка дефектов и наростов. Нарощенная оправка поступает на опрессовку пресс-материалом, после чего следует зачистка облоя пресс-материала, контроль на качество опрессовки, термообработка в термостате. Для облегчения извлечения оправок деталь вместе с оправками выдерживается в горячей воде $10-20 \text{ мин}$. Далее производится распрессовка оправок на специальном приспособлении, очистка их от облоя, промывка, сушка и доработка для повторного использования.

При изготовлении подложек полосковых симметричных систем используются органические материалы, такие как фторопласт-4, полистирол, наполненный полистирол (ПТ), сополимер САМ и др.

Создание интегральных схем СВЧ стало возможным на базе неорганических диэлектриков, таких, как сапфир, поликор, ситаллы, вакуум-

плотная керамика с высоким содержанием окиси алюминия. Требования к материалам подложек, их основные свойства подробно описаны в работе [8].

При разработке конструкции СВЧ устройств как на полосковых линиях, так и интегральных схем важно подбирать материал подложки и корпуса устройства по температурному коэффициенту линейного расширения. Так для подложек из поликора корпуса целесообразно делать из титана или АГ-4, а для подложек из ситалла — из сплава ковара. Для малых линейных размеров плат коэффициент линейного расширения допускает сочетание плат из ситалла с корпусом из титана или АГ-4.

3. СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

Для соединения деталей СВЧ устройств в единую конструкцию используются резьбовые соединения, пайка и склеивание. При сборке узлов из алюминия и его сплавов также находит применение аргонно-дуговая сварка [2], которая исключает применение флюсов и обеспечивает получение швов высокого качества вследствие хорошей защиты металла в зоне горения дуги от воздействия окружающего воздуха. Соединений с помощью винтов следует по возможности избегать, поскольку это самый дорогой способ соединения.

Для соединения узлов СВЧ устройств используются различные виды соединителей. В устройствах, выполненных из круглых или прямоугольных волноводных металлических труб, используются фланцевые соединения дроссельного и контактного типов [16], [15], в коаксиальных устройствах — соединители, конструкции и присоединительные размеры которых показаны в прил. I. Для соединения симметричных и микрополосковых устройств с устройствами, выполненными на других типах линий передачи, используются соответствующие переходы. Примеры конструкций переходов с полосковой симметричной и с микрополосковой линии на коаксиальную и волноводную показаны в прил. 2.

Для обеспечения лучшей электрогерметичности, широкополосности и уменьшения потерь число соединителей должно быть минимальным. В то же время следует предусмотреть возможность настройки отдельных узлов, проверки их параметров (особенно таких, как антенны, фильтры, мосты, направленные ответвители, смесители и т.п.).

Дроссельно-фланцевые соединения в настоящее время ограничено применяются в устройствах из-за невысокой электрогерметичности (по-

ридка 60 дБ в 3 см диапазоне) и недостаточной широкополосности. Они используются только в устройствах с высоким уровнем мощности и в ряде специальных случаев.

Более широкое применение в СВЧ устройствах получили контактные фланцевые соединения без прокладки и со специальной бронзовой контактной прокладкой [17]. Соединения с контактными прокладками обеспечивают минимальные потери и высокую электрогерметичность. В 3 см диапазоне электрогерметичность фланцевого соединения без прокладки составляет приблизительно 70 дБ, с бронзовыми рассеченными прокладками 90-100 дБ.

3.1. Пайка цветных металлов

Способы, режимы пайки и марка припоя выбираются в зависимости от материалов деталей, условий их работы, механических нагрузок, покрытий и т.д.

В зависимости от температуры плавления припой делятся на 2 класса: низкотемпературные (с температурой плавления ниже 450°C) и высокотемпературные (с температурой плавления выше 450°C). Прочность паяного соединения на растяжение при использовании низкотемпературных припоев примерно в 4-10 раз ниже. В табл. 3 приведены марки и свойства припоев, наиболее часто употребляемых при изготовлении СВЧ узлов.

Конструкции деталей должны обеспечивать легкость сборки и закрепления деталей при пайке, а также доступ к местам пайки для подачи припоя. Для узлов, несущих нагрузки, применяются соединения "нахлест" и "втулочные". Величина нахлеста - $(3-4)S$ (где S - толщина более тонкого листа). Стыковые соединения допускается применять только для узлов, не несущих нагрузок. Шероховатость поверхности паяных деталей должна соответствовать $R_z = 10-40$ (прил.3). Зазор между поверхностями спаиваемых деталей должен быть:

0,05-0,15 мм при величине "нахлеста" до 6 мм,

0,1 - 0,25 мм при величине "нахлеста" более 6 мм.

При конструировании паяных узлов следует обеспечивать возможность пайки всех швов за одну операцию и заполнения припоем зазоров при стекании его сверху вниз.

Прочное паяное соединение можно получить только в том случае, если место пайки предварительно тщательно очищено от грязи, жиров,

Класс	Группа	Марка	ГОСТ, ТУ	Металл или металличе- ское покрытие	Темпера- тура плавле- ния, °С	Предел проч- ности при растя- жении, кг/мм ²	Коэффи- циент тепло- вого расши- рения, $\alpha \cdot 10^6$	Удель- ное электро- сопротив- ление, Ом·мм ² м	Область приме- нения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		ПОС-40		Медь, никель и их сплавы, ковар, сереб- ряное, золотое, оло- вяное, оловянно-вис- мутовое с химическим оловяниванием, кад- миевое покрытие	183-238	3,8	-	0,159	Пайка и лужение деталей, проход- ных стеклянных изоляторов, кор- пусов
		ПОС-61	ГОСТ 1499-70		183-190	4,3	24	0,139	Пайка и лужение деталей, работав- ших при темпера- туре не выше 100°С. Пайка и лужение выводов микросхем, микро- модулей, радио- элементов МПП (с контактными площадками), тон- ких металличе- ских пленок, микро- проводов и др. изделий спец. на- значения, где не- допустим перег- рев и должна обес- печиваться гер- метичность швов
Низкотемпературные	Оловянно-свинцовые								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Низкотемпературные	Оловянно-индиевые	ПОИ-50	ОСТ 4 ГО.021. 201	То же	II7	-	-	-	Пайка, лужение с применением ультразвука изделий из феррита и керамики
	Оловянно-цинковые	П200А	-	Алюминий и его сплавы; неметаллы с алюминиевым покрытием методом напыления с медью	199-210	4	-	0, II	Пайка, лужение, в том числе с применением ультразвука, деталей, узлов, настроечных элементов, работающих при температурах до 250°C. Пайка медных проводов к талетным трансформаторам и узлов РЭА
	Висмутовые	П370КВ	-	Медь и ее сплавы	218-220	4, 5	-	0, 478	Исправление дефектов паяных швов в узлах, подвергавшихся серебрению
	Паллиевые	ПУЧ-54	-	Медь, никель; неметаллы с покрытиями медью, никелем, серебром, золотом	-	-	-	0, 19	Бесфлюсовая пайка микросхем и радиоэлементов к печатным платам

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Високотемпературные	Медно-титановый	ШРМГ45	-	Титан и его сплавы	955	-	-	-	Пайка деталей толщиной не менее 0,6 мм, подвергающихся последующему се-ребрению
	Алюминиевые	Силумин эвтекти- ческий	ТУ1-9-555-73 ГОСТ 1521-68	Алюминий и его сплавы АМц, АМг	577-582	15	-	-	Пайка волноводных узлов и антенно-фидерных устройств, кар-касов, кожухов, теплообменников, радиаторов для пайки в со-данных волнах используется Силумин эвтек-тический
		34А	АМТУ 276-71	Алюминий и его сплавы АЛ9, АМц, АМг при необхо-димости ступен-чатой пайки	525	18-24	-	-	
	Медный	МВ	ГОСТ 13339-67	Керамика, титан	1083	22	-	0,017	Пайка разъемов, гермовводов

продуктов коррозии и окисных пленок, которые мешают растеканию припоя и его проникновению в зазор между соединяемыми деталями. Последовательности операций при подготовке деталей к пайке приведены в работе [2]. В отдельных случаях, когда невозможно применить подготовку поверхности детали в специальных растворах, допускается механическая зачистка спаиваемых кромок стальной щеткой.

Все детали, покрытые гальваническим способом, перед пайкой обезжириваются в местах пайки спирто-бензиновой смесью. Способность к пайке деталей, покрытых гальваническим способом, сохраняется не более 6 месяцев. Для обеспечения лучшей способности к пайке деталей, покрытых гальваническим способом, рекомендуется производить пайку не позднее 1-5 суток после покрытия.

Пайку алюминиевых деталей необходимо производить не позднее, чем через 6 часов после подготовки поверхности травлением.

Детали сборных изделий перед пайкой должны быть прочно укреплены одна относительно другой так, чтобы предотвратить их перекосы и смещения во время пайки.

Для удаления окисной пленки с поверхности металлов и припоя, защиты поверхности металлов и припоя от окисления в процессе пайки и снижения поверхностного натяжения расплавленного припоя на границе металл-припой применяются различные паяльные флюсы для низкотемпературных припоев.

Пайка деталей высокотемпературными припоями производится на высокочастотных установках, в электропечах с водородной средой, в атмосфере диссоциированного аммиака или с помощью газовой горелки.

При сборке сложных СВЧ узлов с близким расположением мест пайки используется пайка в расплаве солей (в соляных ваннах). Основным достоинством такого вида пайки является точность регулирования температуры ($+5^{\circ}\text{C}$) и ее постоянство. Состав расплава выбирается в зависимости от температуры плавления припоя. Режим пайки задается на $80-100^{\circ}\text{C}$ выше температуры плавления припоя. Расплавы солей выполняют функции активного флюса, защитной среды и теплоносителя. К недостаткам пайки в соляных ваннах относится низкий к.п.д. ванны, опасность выброса солей в случае погружения влажных сборочных единиц, необходимость работы под вытяжкой.

Способ пайки выбирается с учетом масштаба производства, степени его оснащения современным оборудованием, особенностей конструкции СВЧ деталей, подлежащих пайке.

Используемые при пайке флюсы не должны оставаться на поверхности паяного шва и околосшовной зоны, поскольку они могут вызвать коррозию металла, а также препятствовать получению качественного покрытия деталей. Поэтому после пайки флюсы подлежат удалению с помощью специальных растворов. При удалении низкотемпературных флюсов используется также механическая зачистка паяного шва.

3.2. Склеивание материалов

Клеевые соединения в СВЧ устройствах применяются главным образом для соединения разнородных материалов, например, в фиксированных аттенуаторах и нагрузках для присоединения поглощающих вставок к проводникам линий передач, для присоединения к ним диэлектрических втулок, шайб и т.п.

В табл. 4 показаны области применения клеев для некоторых материалов, используемых в СВЧ технике. В табл. 5 приведены рекомендуемые условия эксплуатации для клеев. Диэлектрические характеристики отдельных видов клеев приведены в табл. 6, а механические — в табл. 7.

Детали должны поступать на склеивание после слесарно-механической обработки и удовлетворять следующим техническим требованиям:

1. На поверхности деталей не должно быть зазубрин, заусенцев, острых кромок и зазоров между склеиваемыми поверхностями.
2. Поверхности пластмассовых деталей не должны иметь короблений.
3. Поверхности деталей должны быть подготовлены посредством механической или химической (травление, обезжиривание) обработки.
4. Детали, требующие защитных покрытий, цинковать или кадмировать (кроме нержавеющей стали).
5. Детали из алюминия и его сплавов анодировать в серной кислоте с наполнением хромиком.
6. Детали из фторопласта-4 для повышения адгезионной способности обработать натрий-нафталиновым комплексом в растворе тетрагидрофурана: детали погрузить в приготовленный комплекс на 2-3 минуты, выдержать до окрашивания их в темно-коричневый цвет.
7. Детали из полиэтилена перед склеиванием обработать в растворе двуххромовокислого калия.

Склеиваемые материалы и клеи

Склеиваемые материалы	Склеиваемые материалы и клеи													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	Сталь, латунь, алюминий, медь, бронза	Титановые и магниевые сплавы	Слоистые плитки и пресс-порошки	Пенопласты	Слюда	Керамика, асбест, цемент	Графит	Полиэтилен	Полихлорвинил	Ферриты	Фторопласты	Спецклеи-эпоксидные	Полиэтилен, перфторэтилен (лакеи)	
I	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,3, 5	1,2, 3,5	1,3	2,8	2,8	1,2, 3,5, 8	1,2, 3,5	2,8	2,7,8	
	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,9	1,3, 5	1,2, 3,5	1,3	2,8	2,8	1,2, 3,5, 8	1,2, 3,5	2,8	2,7,8	
	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,9	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,3	2,8	2,8	1,2, 3,5, 8	1,2, 3	2,8	-	
	1,2, 3,9	1,2, 3	1,2, 3,9	1,2, 3,9	1,2, 3,5	1,2, 3	1,3	2	2,8	1,2, 3	1,2	2	-	
	1,3, 5	1,3, 5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,3, 5	1,3, 5	-	-	1,5	1,5	-	-	
	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3	1,3, 5	1,2, 3,5	1,3	2,8	8	1,2, 3,5	1,2, 3,5	2,8	-	
Графит	1,3	1,3	1,3	1,3, 5	1,3	1,3	1,3	-	-	1,3	-	-	-	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Полистирод	2,8	2,8	2,8	2	-	2,8	-	6,8	8	2,8	2	8	-
Полихлорвинил	2,8	2,8	2,8	2,8	-	8	-	8	8	8	-	8	-
Ферриты	1,2, 3,5,8	1,2, 3,5,8	1,2, 3,5,8	1,2, 3	1,5	1,2, 3,5	1,3	2,8	8	1,2, 5,8	1,2, 5	2,8	-
Фторопласт-4	1,2, 3,5	1,2, 3,5	1,2, 3	1,2	1,5	1,2, 3,5	-	2	-	1,2, 5	1,2, 5	2	-
Специэлектрик ХВ	2,8	2,8	2,8	2,8	-	2,8	-	8	8	2,8	2	2,8	-
Полиэтилен, терeftалатная пленка	2,7,8	2,7,8	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7,8	-	2,7,8

П р и м е ч а н и е. Цифры в табл. 4 обозначают порядковые номера клеев (такие же номера имеют клеи в табл. 5, 6, 7):

1 - эпоксидный, 6 - полистироловый,

2 - ПУ-2, 7 - ТМ-60,

3 - К-400, 8 - ЛН,

4 - К-4, 9 - 88Н,

5 - БФ-4, 10 - К-136.

Технологические данные и условия эксплуатации клеев

Наименование	Рабочая температура, °С	Режим			Условия эксплуатации и устойчивость к воздействию внешних факторов	Примечание
		температура сушки, °С	время сушки, ч	уд. давление, кг/см ²		
I	2	3	4	5	6	7
Эпоксидный холодного отверждения Д-9	-60 ÷ +80	25 ± 10 или 60-70 или 100-110	24 10 4 - 6	0,5-0,7 0,5-0,7 0,5-0,7	Устойчивость к воздействию жидкого топлива, разовых и щелочей, воды. Трещиноустойчив. Срок службы при 100°C - 500 ч	Не рекомендуется для склеивания эластичных материалов
Полупри-тазовый ПУ-2	-60 ÷ +80	25 ± 10 или 80 ± 5 или 105 ± 5	24 5-6 3-4	0,5-3 0,5-3 0,5-3	Устойчив к воздействию бензина, керосина, органических растворителей. Влагоустойчив. Срок службы при 80°C - 300 ч	Особенно рекомендуется для склеивания эластичных материалов

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
К-400	-60÷ +250	25±10 или 80	48 4	0,5-1 "-	Устойчив к действию органических растворителей, разбавленных кислот, щелочей. Тростико-устойчив и виброустойчив. Срок службы при 200°C - 100 ч, при 300°C - 25 ч	Применяется также для заделки зазоров в деталях
Контакт-тол К-4	-60÷ +125	25±10 85±5 или 25±10 110±5 или 25±10 125±5	3 6 3 4 3 3		Устойчив к воздуху повышенной влажности и действию переменных температур. Срок службы при 125°C - 500 ч	Серебряные, медные, платиновые поверхности, покрытие припоем ЦОС-61, палладиевые
БФ-4	-60÷ +100	60-80 или 120-140 или 140-160	3-6 1-4 1-2	5-6	Устойчив к действию бензина, масла, стоек к действию переменных температур. Срок службы практически неограничен	Склеенные детали легко поддаются механической обработке

I	2	3	4	5	6	7
Полнотеродовый	-50± +60	25±10 или 50-60	10-19 3-4	I, 5-3 -	Устойчив к действию воды, грижковой плесени	Шов прозрачен
ТМ-60	-60± +60	165±5 или 120-130	15мин			
ЛН	-60± +120	25±10 или 60-70	24 ?	0,2-5 0,2-5	Стоек к кислотам и щелочам, бензину и керосину, маслам, водостоек и тропикостоек, вибростоек	
88Н	-60± +60	25±10	24	I-2	Тропикостоек, виброустойчив, устойчив к действию воды и грижковой плесени, не стоек к маслам, бензину, керосину	
Контакт-тол К-130	-60± +100	25±10 70	14 7		Устойчив к действию воздуха повышенной влажности и переменным температурам Срок службы 500 ч при 100°C	Контактируемые поверхности должны быть неокисленными, блестящими и обезжиренными. Клей можно применять для обводки детали из ПТ

Диэлектрические характеристики клеев

Марка клея	Удельное объемное сопротив- ление при $t = 20^{\circ}\text{C}$, Ом/см	$\text{tg } \delta$ на $f = 10^6 \text{ Гц}$ при $t = 20^{\circ}\text{C}$	ϵ на 1 МГц при $t = 20^{\circ}\text{C}$	Электри- ческая прочность при 20°C , кВ/мм	Примеча- ние
Эпоксидный клей холодного отвержде- ния Д-9	10^{14}	0,014	4,6	16	Электри- ческая прочность при толщине слоя образцов 3 мм
	10^{13} при 80°C	0,014	4,8 при 80°C	16,7 при 80°C	
Полиуретано- вый ПУ-2 К-400	$4 \cdot 10^{15}$	0,012	3,5	90	
	$3,3 \cdot 10^{15}$	0,017	4,2		
Контактол К-4 БФ-4	$2,5 \cdot 10^{-3}$				
	$5,2 \cdot 10^{15}$	0,023	4,1	98	
Полистироло- вый ТМ-60	$2,6 \cdot 10^{15}$	0,0023	3,4	50,0	
	$0,9 \cdot 10^{13}$	0,054	-	47	
ЛН'	$2,0 \cdot 10^{12}$	0,037	5,7	15,0	
88Н	$3,3 \cdot 10^{14}$	0,039	4,7	54	
Контактол К-136	$5 \cdot 10^{-4}$				

Механические свойства клеев

Наименование клея	Сочетание материалов	Удельное сопротивление, кг/см ² после климатических испытаний						Примечание	
		в нормальных условиях		Отслаивание		Отрыв			
		Отрыв	Сдвиг, $\sigma_{сд}$	Отслаивание	Отрыв	Сдвиг, $\sigma_{сд}$	Отслаивание		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Эпоксидный клей холодного отверждения Д-9	Сталь-сталь Кд.Хр.	135	40		110				Механическая прочность образцов Д16 Ан.Окс.Хр. типа втулка-отверстие в нормальных условиях $\sigma_{сд} = 200 \frac{кг}{см^2}$, после климатических испытаний $\sigma_{сд} = 200 \frac{кг}{см^2}$
	Латунь-латунь	65	75		50	17			
	Дюралюминий-дюралюминий Ан.Окс.Хр.	130	70		72	33			
	Сталь Кд.Хр.-керамика		55			20			
	Сталь Кд.Хр.-латунь		75			13			
	Сталь Кд.Хр.-пластмасса	50	75		50	30			
	Титан-титан	63	100		59				
	Магний-магний Ан.Окс.	100			115				
	Дюралюминий Ан.Окс.Хр.-стеклоткань-дюралюминий Ан.Окс.Хр.	190	50		200	65			

I	2	3	4	5	6	7	8	9
ПУ-2	Сталь-сталь Кд.Хр. Латунь-латунь Дюралюминий-дюралюминий Ан.Окс.Хр. Цинк-цинк	75 78 64	120 100 140 140 100		73 77 61	86 57 45		При полимеризации клея при комнатной температуре прочность не менее 16 кг/см ² (дюралюминий-дюралюминий Ан.Окс.Хр. при сдвиге)
	Сталь-сталь покрытие НХ.15	80	230		76	330		
	Латунь-латунь покрытие Ср.12	66	38		54	58		
	Нержавеющая сталь-нержавеющая сталь	140	120		180	200		Механическая прочность образцов из Д16 Ан.Окс.Хр. тина втулка-отверстие в нормальных условиях
	Сталь Кд.Хр.-диэлектрик КТ	75	78		74	23		Т _{ср} = 51 кг/см ² , после климатических испытаний - 38 кг/см ²
	Стеклотекстолит-стеклотекстолит	73	100		68	108		
	Сталь Кд.Хр.-резина Дюралюминий-резина	30	20 30		26	22		

I	2	3	4	5	6	7	8	9
	Полиэтилен-полиэтиден	29	38		27	38		
	Сталь Кд.Хр. - фторопласт-сталь Кд.Хр.	40	43		60	36		
	Деревянный-диэлектрик ХВ		30			21		
	Дюралюминий Ан.Окс.Хр-стеклоткань-дюралюминий Ан.Окс.Хр.	73	133		73			
К-400	Сталь-сталь Кд.Хр.	100	100		120	135		Механическая прочность образцов из Д16 Ан.Окс.Хр. типа втулка-отверстие в нормальных условиях
	Латунь-латунь	140	77		88	77		$T_{ср} = 140 \text{ кг/см}^2$
	Дюралюминий-дюралюминий Ан.Окс.Хр.	130	180			103		после климатических испытаний -
	Нерж.сталь-нерж.сталь	145	115		160	120		130 кг/см ²
	Сталь-сталь покрытие НХ.15		120			130		
	Латунь-латунь покрытие Ср.	90	70			70		
	Титан-титан	120	123		150	96		

Продолжение табл. 7

I	2	3	4	5	6	7	8	9
	Сталь Кд.Хр.-свинец		76			70		Разрыв по сви- нцу
	Латунь-свинец		75			62		
	АГ-4 - АГ-4	82	90		80			
	Дюралюминий Ан.Окс.Хр.- стеклоткань-дюралюминий Ан.Окс.Хр.	53	80		87	60		
Контактотол К-4	Латунь-латунь	40						
БФ-4	Сталь-сталь Кд.Хр.	150	100		56	35		
	Дюралюминий-дюралюми- ний Ан.Окс.Хр.	65	100		45	38		
	Латунь-латунь	50	80		30	31		
	Сталь Кд.Хр. - эбонит	150	100					
	Сталь Кд.Хр. - ясень		120					
	Сталь Кд.Хр. - кожа	25	12	6,0	20	10		
	Латунь-кожа	21	10	5,0	20	10		
Полистирол- ловый	Полистирол-полистирол	27	70		27	31		
	Органическое стекло-		40		17	27		
	Органическое стекло	21						
	Сталь Кд.Хр. - полистирол	18	30-40		15	20		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТМ-60	Полиэтилен термостойкая пленка - казанная медная фольга	10	11,3	0,6	9	-		
ЛН	Сталь Кд.Хр.- резина Дюралюминий Ан.Окс.Хр.- резина	15	11	2,0	10	10		
	Серебро-полистирол	12	12					
	Полиамид-полиамид	31,3	31,3					
	Винилласт-винилласт	7,2	7,3					
	Органическое стекло	11	14,6			13		
	Полистирод-полистирол	3	4,7					
	Дюралюминий	11	21	2,0		20		
	Ан.Окс.Хр.-лакоткань	10		0,7				
	Дюралюминий - пленка В-118		6			5,4		
88Н	Органическое стекло - резина 14р-15							
	Дюралюминий							
	Ан.Окс.Хр.- пленка В-118			0,7-1				
	Дерево-войлок			4				
	Дюралюминий Ан.Окс.Хр.- эбонит	100	80					
	Дюралюминий - орг. стекло		80					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Контакты К-136	Сталь Кд.Хр.-фибра		100						
		Сталь Кд.Хр.-орг.-стекло	90	80					
		Сталь Кд.Хр.-текстолит	100	100					
		Дюралюминий Ан.Окс.Хр.-кожа-резина	13		3				
		Сталь Кд.Хр.-пробка			3				
		Дерево-резина	3,5		4				
		Резина-резина			4,5				
		Латунь-латунь	25						
		покрытие Ср-12		22,3			22		Разрыв по материалу
		ПТ-ПТ (полистирол + TiO_2)		26,5			24		
	ПТ-латунь покрытие								
	Ср-12								

4. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВЧ УСТРОЙСТВА И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ

Основные и дополнительные климатические факторы (см. рис. 1) вызывают ухудшение электрических характеристик устройств. Одной из основных причин этого является коррозия металлов, применяемых для изготовления устройств. Коррозия происходит также и у комбинаций металлов или металлических покрытий в соединении с основным металлом. В табл. 2 приведены допустимые и недопустимые контактные пары. Коррозия существенно влияет на надежность контактов. Кроме того, вследствие сильно выраженного поверхностного эффекта в диапазоне СВЧ даже незначительные повреждения поверхности ведут к нарушению нормальной работы устройства.

Под действием влаги и температуры изменяют свои свойства и диэлектрические изоляционные материалы. Вследствие поглощения влаги у диэлектриков ухудшаются не только электрические характеристики, но и увеличивается объем. При высыхании возникает обратный процесс — усадка материала. Все это может привести к механическим повреждениям устройства: вследствие набухания и усадки на поверхности могут возникнуть трещины, в капилляры которых попадает влага, ухудшая свойства материала.

Для защиты от климатических воздействий применяются комплексные меры защиты: выбор материалов, способных противостоять климатическим воздействиям, использование различных технологических и конструктивных мероприятий.

При использовании высококачественных материалов не требуется особых конструктивных и технологических мероприятий. Однако можно получить ту же стойкость деталей к климатическим воздействиям при использовании более дешевых, технологичных материалов с меньшей коррозионной стойкостью, если предусмотреть соответствующую защиту поверхности. При этом достаточна небольшая толщина защитного слоя (покрытия). Виды покрытий для различных материалов и применений приведены в табл. 8.

В графе 5 (условия эксплуатации) введены следующие обозначения групп: Л — легкая, С — средняя, Ж — жесткая, Ож — очень жесткая.

Соответствие групп эксплуатации окружающей атмосфере приведено в табл. 9.

Эффективная защита от коррозии, помимо специального выбора системы гальванического или другого вида покрытия, требует тщательной

подготовки металлической поверхности, которая не должна иметь ржавчины, окалина, жира, пыли, следов солей и влаги. Обработка поверхности должна быть выполнена таким образом, чтобы гарантировалась хорошая адгезия покрытия. Опыт показывает, что тщательная обработка поверхности под покрытие для прочности покрытия важнее, чем выбор самого покрытия. Для предварительной обработки поверхности применяются следующие способы: травление, обработка пескоструйным аппаратом, фосфатирование.

Для защиты гальванических покрытий при транспортировке и хранении, а также для придания устройству внешнего эстетического вида применяются лакокрасочные покрытия.

Грунтовка служит для надежного пассивирования поверхности основного материала и образует герметичный непрерывный покровный слой. Без грунтовки невозможно никакое лакокрасочное покрытие, стойкое к климатическим воздействиям. Кроме того, грунтовки улучшают адгезию лакокрасочного покрытия к основному материалу. Для лучшей прочности прилипания перед нанесением собственно грунтовки применяется оксидное или фосфатное покрытие. Для защиты поверхности от влаги используются чаще всего глянцевые эмали, содержащие светостойкие пигменты. Высокой атмосферостойкостью обладают эмали горячей сушки на основе алкидной, эпоксидной, меламиновой смол.

Как показывает опыт, лакокрасочное покрытие должно иметь общую толщину слоя, не превышающую 140 мкм. Для устройств, подвергающихся временной защите, например на случай транспортировки, достаточна пленка светлого лака толщиной в 50 мкм. Наиболее часто применяемые виды лаков, грунтов и эмалей приведены в табл. IО. В табл. II указаны краски контрольные, используемые для контроля настроечных винтов, и краски маркировочные.

Самые лучшие технологические меры не обеспечат необходимой стойкости детали к климатическим воздействиям, если форма детали не допускает экономичного и прочного покрытия ее защитным слоем, т.е. когда деталь с точки зрения гальванотехники сконструирована неправильно. Например, следует избегать острых краев у металлических деталей, так как там прежде всего начинается коррозия. Кроме того, на гладкой, закругленной поверхности защитный слой осаждается равномернее.

Назначение и область применения покрытий

№ п/п	Вид покрытия	Назначение	Материал деталей	Условия эксплуатации	Толщина покрытия, мкм	Обозначение покрытия	Шероховатость поверхности	Примечание
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Покрытия, наносимые электролитическим способом								
I.	Кадмиевое	Защита от коррозии в условиях повышенной влажности в) корпусов, крышек, панелей, кронштейнов, экранов и др.	Сталь	С Ж, ОЖ Ж, ОЖ	15-18 21-24 24-30	Кд. 15.Хр. Кд. 24.Хр. Кд. . . Фос. Кд. 9.Хр.	.. ОЖ Ж, ОЖ Ж, ОЖ	Цвет серебристо-белый, обладает высокой эластичностью, хорошо подвергается пайке, допускает сварку Применяется для деталей, требующих плотной сборки, хорошей притираемости Не рекомендуется для металлов, работающих в среде, содержащей сернистые соединения, волизи выхлопных газов, в герметичных приборах
			Сталь, медь и медные сплавы	С	6-9 9-12	Кд. 6.Хр. Кд. 9.Хр.		
			Медь и медные сплавы	С, Ж, ОЖ	12-15 "-	Кд. 12.Хр. Кд. 21.Хр.		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. Никелевое	Защита от коррозии а) экранов, сердечников, корпусов, резьбовых крепежных деталей и др.	Сталь	Л, С	Медь и медные сплавы	Медь 9	М9. Н6	Ni Cu Pb Sb As Sn Zn Al Fe Mn Si Ti Co Ni Mo W V Cr Mg Ca Sr Ba Zr Hf Nb Ta Bi S Se Te Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr	Цвет серебристо-белый с желтоватым оттенком. Применяется для защитной, защитно-декоративной и спец. отделки деталей.
					Никель	М18. Н12		
3. Хромовое	Защита от коррозии а) с одновременной декоративной отделкой	Медь и медные сплавы	Л, С, Ж, Ож	Медь и медные сплавы	6, 18, 12	Н3. М3. Н15	Ni Cu Pb Sb As Sn Zn Al Fe Mn Si Ti Co Ni Mo W V Cr Mg Ca Sr Ba Zr Hf Nb Ta Bi S Se Te Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr	Полируется. Прочность высокая для увеличения защитных свойств применяется многослойное покрытие
					5-9	Н6		
					9-12	Н9	Ni Cu Pb Sb As Sn Zn Al Fe Mn Si Ti Co Ni Mo W V Cr Mg Ca Sr Ba Zr Hf Nb Ta Bi S Se Te Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr	
					Медь 12 Никель 6	М12. Н6		
3. Хромовое	Защита от коррозии а) с одновременной декоративной отделкой	Медь и медные сплавы	Л, С	Медь и медные сплавы	Медь 18 Никель 12	М18. Н12	Ni Cu Pb Sb As Sn Zn Al Fe Mn Si Ti Co Ni Mo W V Cr Mg Ca Sr Ba Zr Hf Nb Ta Bi S Se Te Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr	Цвет серебристо-белый, применяется для защитно-декоративной отделки и повышения износостойчивости
					9-12 15-18	Н12 Н15		
					Медь 12 Никель 6 Хром до 1	М12. Н6Х		
3. Хромовое	Защита от коррозии а) с одновременной декоративной отделкой	Медь и медные сплавы	Л, С	Медь и медные сплавы	Медь 24 Никель 12 Хром до 1	М24. Н12Х	Ni Cu Pb Sb As Sn Zn Al Fe Mn Si Ti Co Ni Mo W V Cr Mg Ca Sr Ba Zr Hf Nb Ta Bi S Se Te Po At Rn Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr	Цвет серебристо-белый, применяется для защитно-декоративной отделки и повышения износостойчивости
					Хром до 1	М24. Н12Х		

	4	5	6	7	8	9
Хромовые	Медь и медные сплавы	Ж, С, ОЖ	Медь 30	М50, Н11Б, Х	$R_{\sigma} 0,65 \div 1,25$ $R_{\sigma} 3,2 \div 6,3$	Отличается высокой твердостью, термостойкостью. Для улучшения защитных свойств применяется покрытие медь-никель-хром
			Никель 16 Хром до I	Н6, Х		
			Никель 12 Хром до I	Н12, Х		
Хромовые	Сталь	С) с увеличением твердости деталей, работающих на трение и скольжение	Хром 9-24	ХТ9	$R_{\sigma} 0,63 \div 1,25$ $R_{\sigma} 3,2 \div 6,3$	Пружины и детали с твердостью $R_{\sigma} = 60$ хромировать нельзя!
			24-36	ХТ24		
			36-48	ХТ36		
4. Оловяно-свинцев	Медь и медные сплавы	Л, С	9-12	Хмол 9	$R_{\sigma} 1,25 \div 2,5$ $R_{\sigma} 6,3 \div 10$	Применяются для покрытий деталей, подвергающихся пайке и имеющих гальванопокрытие цинком, никелем, медью
			18-21	Хмол 18		
			24-30	Хмол 24		
4. Оловяно-свинцев	Сталь	Ж	Медь 6	М6, 0-		
			ПОС-40-3	-С(40)С-опл.		
4. Оловяно-свинцев	Медь 12	Ж	ПОС-40-3	М12, 0-		
			ПОС-40-3	-С(40)С-опл.		

I	2	3	4	5	6	7	8	9
					Медь I2 ПОС-6I-3	M2I.0- -C(6I)24. опл.	$R_{z} 20+40$ $R_{z} 5+10$	
			Медь и медные сплавы	Л	3-6	0-C(40)3 опл.		
			Медь и медные сплавы	Ж, ОЖ	I2-I5	0-C(6I)-I2		
5.	Олово-висмут	Для защиты от коррозии и улучшения условий пайки	Медь и медные сплавы	Л Ж, ОЖ	3 9	0-ВИЗ 0-ВИ9	$R_{z} 125+25$ $R_{z} 63+10$	Облегчает пайку деталей
		Улучшение электропроводности специальных токопроводящих деталей с одновременной защитой от коррозии	Сталь	Л С, Ж	Медь 9 Серебро 6 Медь 30 Серебро I2	М9.Ср 6 М30.Ср I2	$R_{z} 1,25+2,5$ $R_{z} 6,3+10$	Цвет - белый. Применяется для токонесущих контактирующих деталей, работающих в СВЧ полях. Покрытие легко дается. Для обеспечения качества покрытия с поверхностью деталей предусматривается медный подслои и применяется дополнительная обработка в хроматных растворах, оксидирование, лакирование
				Ж, ОЖ	Никель I5 Медь 3 Серебро I2	ХИМ.НI5 М3СрI26		
6.	Серебряное	Улучшение электропроводности контактов, пластин, лепестков, резонаторов, деталей водных тракторов и др.	Медь и медные сплавы	Л, С Ж, ОЖ	9-12 Медь 3 Серебро 9	Ср.Ср М3СрI2.Пд М3СрI2.Рд М3Ср9Хр	$R_{z} 63+125$ $R_{z} 9,63+125$ $R_{z} 32+63$	
			Титановые сплавы	Л, С Ж, ОЖ	Никель 3 Серебро I2	Н3.М3 СрI2		

1	2	3	4	5	6	7	8
	Серебряное	Улучшение электропроводности крепящих деталей	Медь и медные сплавы	С, Ж ОЖ	6-9 9-12	Ср.6 Хр Ср.6 Пд Ср.9 Хр Ср.9 Рд	с целью защиты серебра от потемнения. Палладиевое и родиевое покрытия применяются для защиты серебра от сползания и повышения износостойчивости
		Улучшение пайки и электропроводности	Алюминиевые сплавы	Ж	Никель 12 Медь 6 Серебро 6	Н12.М6 Ср6	R_{20}^{22+85} R_{20}^{22} R_{20}^{25} R_{20}^{25} R_{20}^{25} R_{20}^{25} R_{20}^{25} R_{20}^{25}
7.	Золотое	Уменьшение переходных сопротивлений контактов	Медь и медные сплавы	С, Л	3 5 - 6 9 - 12 18 - 21	ЗЛ.3 ЗЛ.5 ЗЛ.9 ЗЛ.18	Используется для покрытия деталей из сплавов с заданным коэффициентом расширения
8.	Палладиевое	Для повышения коррозионной стойкости серебра	Серебро	С, Ж ОЖ		Пд 0,5	Применяется в качестве замены покрытия родием, не имеет гор и раковин, дешевле родиевого
9.	Родиевое	Для защиты от коррозии серебряного покрытия	Медь и медные сплавы Медь и медные сплавы, никель-высые сплавы	С, Ж ОЖ Л Ж		Ср 6.Пд Ср 6.Рд Ср 9.Рд	Покрывает токопроводящее, имеет высокую твердость, предупреждает сползание серебра
10.	Сплав серебро-сурьма	Для защиты от коррозии	Медь и медные сплавы	Ж		Ср-Су-9	Применяется для получения неискорящего увеличенной твердости поверхностного слоя в различных климатических условиях

I	2	3	4	5	6	7	8	9
II. Никелевое	Защита от коррозии	2. Покрeтия, наносимые химическим способом	Медь и медные сплавы	Л	Хим.Н6		Р _д 5-10 Р _д 20-40 Р _д 50-70 Р _д 80-100	Применяются в качестве подслоя в многослойных антикоррозионных покрытиях, в качестве декоративного покрытия для малоответственных деталей, а также для улучшения пайки алюминия к меди и ее сплавам
			Титановые сплавы	Л, С, Ж, ОЖ	Хим.Н9		Р _д 5-10 Р _д 20-40 Р _д 50-70 Р _д 80-100	
II2. Окисное	Для защиты от коррозии	а) фланцы, трубы б) для соединения алюминиевых и латунных деталей (из медных сплавов)	Алюминиевые сплавы	С, Л, Ж	Хим.Н21 Хим.Н18 Хим.Н9/лпн		Р _д 5-10 Р _д 20-40 Р _д 50-70 Р _д 80-100	Не применяется для деталей, работающих в подвижных соединениях
			Медь и медные сплавы	Л, С, Ж	Хим. ОКС. Хим. ОКС/лпн		Р _д 5-10 Р _д 20-40 Р _д 50-70 Р _д 80-100	
II3. Окисное фторидное	То же	То же	Алюминий и его сплавы	Л	Хим. ОКС. Фтор		Р _д 5-10 Р _д 20-40 Р _д 50-70 Р _д 80-100	Используется как подслоя для последующих лако-красочных покрытий
			Магний, магниевые сплавы	Л, С	Хим. ОКС. Хр/лпн			Покрeтия не проводящие
			Алюминий и его сплавы	Л	Хим. ОКС. Фтор			
			С, Ж, ОЖ	С, Ж, ОЖ	Хим. ОКС. Фтор/лпн			

1	2	3	4	5	6	7	8
15.	Окисное	Защита от коррозии	Медь и медные сплавы	Л, С Ж, ОЖ	Хим. Пас.	Хим. Пас./лпк	Предупреждает оползание серосера
		3. Покрытия, наносимые анодизационным способом					
		Защита от коррозии	Алюминий и его сплавы	Л, С	Ан. Окс. Хр.		Используется для деталей, подверженных сильному износу. Обладает отличной адгезией
			Алюминиевые легированные сплавы	Л, С Ж, ОЖ	Ан. Окс. (прет красителя) Ан. Окс. ЛрГ Ан. Окс. Хр/лпк		
			Алюминий и алюминиевые сплавы	Л, С Ж, ОЖ	Ан. Окс. Хр. Ан. Окс. Хр/лпк Ан. Окс. тв		
			Магниевые сплавы	Л, С	Ан. Окс. из/лпк		
		4. Покрытия металлические, наносимые горячим способом					
16.	Сплав ПОС	Защита от коррозии деталей, подвергающихся пайке	Сталь, медь и медные сплавы	Л, С Ж, ОЖ	Гор. Пос... Гор. Пос-6I		Для облегчения условий пайки

Группы условий эксплуатации

Характеристика окружающей атмосферы	Микроклиматический район			
	умерен- ный	холодный	Тропический	
			сухой	влажный
Вдали от промышленных объектов (лес, горы, сель- ская местность)	С	С	С	Ж
Вблизи промышленных объектов	Ж	Ж	С	ОЖ
	С	С	С	Ж
Вблизи и на поверхности моря	ОЖ	Ж	-	ОЖ
	Ж	Ж	-	Ж

Т а б л и ц а 10

Эмали, краски, лаки, грунты

Название	Марка	Цвет	ГОСТ
1	2	3	4
<u>1. Покрытия атмосферостойкие</u>			
Эмаль	XB-16	Темно-серый	ТУ6-10-1042-70
Эмаль	XС-1107ГМ	Черный Глубоко-ма- товый	
Покрытия меламиноалкидные			
Эмаль	МЛ-12-00	Черный	ГОСТ 9754-61
	МЛ-12-73	Серый	
Покрытия молотковые			
Эмаль	МЛ-165	Серый	ГОСТ 12034-65
	МС-160	Серый	
Покрытия оксидно-итриевые			
Эмаль	ЭП-51	Черный	ГОСТ 9640-61

1	2	3	4
Эмаль	ЭП-51 ЭП-51 ЭП-51	Красный Белый Серый	ГОСТ 9640-61
Покрытия фторопластовые			
Эмаль	ФП-566	Серый	МРТУ 6-10-617-66
Покрытия пентафталевые			
Эмаль	ПФ-115 ПФ-115 ПФ-115	Белый Черный Красный	ГОСТ 6465-63
Покрытия бутилметакрилатные			
Лак	АК-113Ф	Бесцветный	ТУ 6-10-1296-72
Покрытия эпоксидные			
Эмаль	ЭП-91 ЭП-140 ЭП-140 ЭП-255 ЭП-255	Зеленый Черный Серый Белый Зеленый	ГОСТ-15943-70 МРТУ 6-10-599-74 МРТУ 6-10-676-67
Лак	Э-4100	Бесцветный	МРТУ 6-10-857-69
Эмаль	ЭП-274	Серый	ТУ 6-10-1039-70
2. Покрытия, стойкие внутри помещения			
(нитроцеллюлозные)			
Эмаль	НЦ-25 НЦ-25 НЦ-25	Черный Белый Красный	ГОСТ 5406-73
Лак	НЦ-134	Бесцветный	ТУ 6-10-1291-72
3. Покрытия термостойкие			
Эмаль	КО-811 КО-834	Черный Серый	МРТУ 6-10-596-72 ВТУНЧ-1112-68
Лак	КО-815	Бесцветный	ГОСТ 11066-64

1	2	3	4
<u>4. Покрытия электроизоляционные</u>			
Лак	УР-231	Бесцветный	МРТУ-10-863-69
Лак	КО-940	Бесцветный	МРТУ-6-10-719-68
Лак	ФЛ-582	Коричневый	ТУ6-10-1236-72
Эмаль	МА-5118	Шаровый	ТУ6-10-1374-73
<u>5. Лаки защитные</u>			
Лак	ВЛ-931	Бесцветный	ГОСТ 10402-63
	КО-916	То же	ГОСТ 16508-70
	КО-835	- " -	МРТУ6-10-931-70
	ФБФ-74Д	- " -	МРТУ6-№М-862-61
<u>6. Грунты</u>			
Грунт	АК-070	Желтый	МРТУ-10-899-74
	ФЛ-03-К	Коричневый	
	ФЛ-03-Ж	Желтый	ГОСТ 9109-59
	ВЛ-02		ГОСТ 12707-67
	ЭП-09Т		

5. МАРКИРОВКА СВЧ УСТРОЙСТВ

Разработанное СВЧ устройство должно иметь маркировку - буквенно-цифровой код, нанесенный на поверхность устройства, обозначенную конструктором. Чаще всего на устройстве СВЧ обозначают номер чертежа, порядковый номер устройства и обозначения соответствующих плеч устройства. Место и размеры маркировки выбираются таким образом, чтобы ее можно было легко различить на обычном для наблюдения расстоянии при рабочем положении устройства.

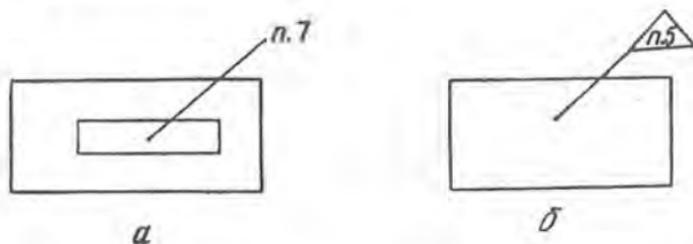
Маркировка должна быть ясной, четкой, контрастной, обладать высокой стойкостью в отношении воздействия атмосферы, не изменяться во времени. Маркировочные знаки не должны портить поверхность устройства. Надо помнить, что маркировка - это прежде всего информации

об устройстве, но в то же время нельзя не учитывать и эстетические аспекты маркировки.

Выбор метода маркировки определяется количеством наносимых знаков, их размером, материалом устройства, формой и чистотой поверхности, а также технологическим процессом изготовления. Наиболее простым и доступным методом маркирования является механический метод - гравирование, накатывание и т.п. Возможно применение также электрофизических или электрохимических методов. Более полное описание методов маркирования и сравнение их свойств приведено в работе [11].

ЕСКД устанавливает правила нанесения указаний о маркировании на чертеже. Место нанесения маркировки на чертеже отмечается точкой или участком поверхности. Ее соединяют выноской со знаком маркирования - окружностью \varnothing 10-15 мм. Внутри окружности пишется номер соответствующего пункта технических требований, в котором приведены указания о маркировании.

Обозначение маркировки на чертеже показано на рис. 3,а. Виды маркировочных красок приведены в табл. II.



Р и с. 3. Обозначение маркировки на чертеже: а - указано место для нанесения маркировки; б - указано место нанесения клейма (клеймо окончательной сборки или клеймо на бирке)

Помимо маркировки на поверхности изделия наносится клеймо-знак, удостоверяющий качество изделия. Знак клеймения - равносторонний треугольник высотой 10-15 мм, внутри которого размещается номер пункта технических требований, в котором указаны сведения о клеймении (рис. 3,б).

Месторасположение, форма и размеры клейма и маркировки не должны совпадать.

Если маркировку или клеймо невозможно нанести на изделие по конструктивным соображениям, то в технических требованиях на черте-

же помещают указание "Маркировать ... на бирке" или "Клеймить... на бирке".

Т а б л и ц а II

Краски маркировочные контровочные

Название	Марка	Цвет	ГОСТ
<u>Краски маркировочные</u>			
Эмаль	ЭП-572	Черный	ВТУНЧ № 3165-67 ОСТ 4 ГО.028.001
	ЭП-572	Белый	
	ЭП-572	Красный	
	МКЭЧ	Черный	
	МКЭБ	Белый	
<u>Краски контровочные</u>			
Эмаль	ЭП-51	Серый	ГОСТ 9640-61
Краска	ЭД-20	Желтый	
Краска на основе шпатлевки	ЭП-00-10	Красно-коричневый	НГО.019.001
Грунт	АК-070	Желтый	МРТУ 6-10-899-74
<u>Краски для заливки гравировки</u>			
Эмаль	ЭП-51	Белый	ГОСТ 9640-61
	ЭП-51	Черный	
	ЭП-51	Красный	

СОЕДИНИТЕЛИ РАДИОЧАСТОТНЫЕ. ИХ ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ

ГОСТ
20265-74

Присоединительные размеры соединителей, волновые сопротивления и верхние границы рабочего диапазона частот должны соответствовать указанным на чертежах I-24 (рис. III-I3II) и в табл. III.

П р и м е ч а н и е. Присоединительные размеры на чертежах I, 2, 10, 11, 13, 24 в новых разработках не применяются.

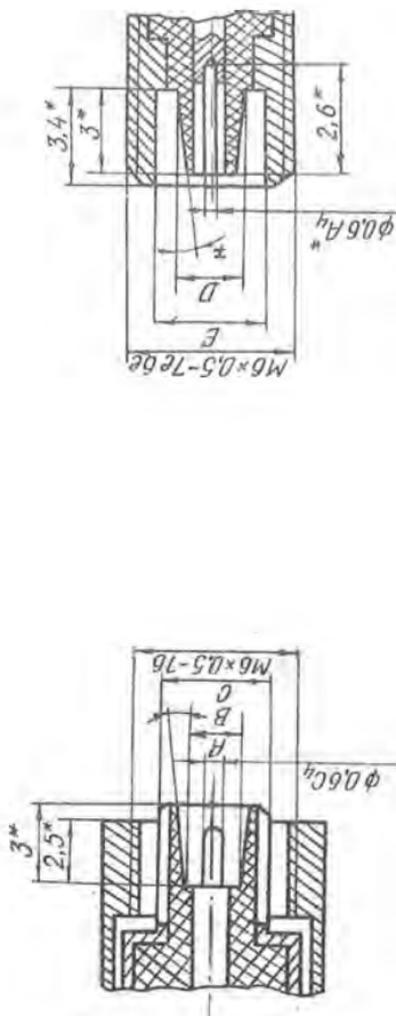
Т а б л и ц а III

Волновые сопротивления и верхняя граница диапазона соединителей:

Номер чертежа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Волновое сопротивление, Ом	50	75	50	75	50	75	50	50	75	50	75	75	100	50
Верхняя граница рабочего диапазона частот, ГГц.		30			7,5			10,0		5,0		10,0	10,0	

Продолжение табл. III

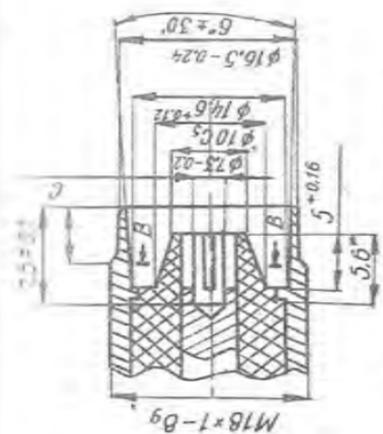
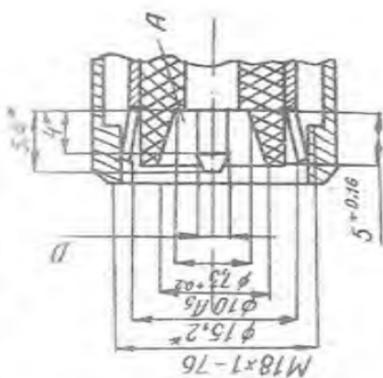
Номер чертежа	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Волновое сопротивление, Ом	50	75	50	75	50	75	75	50	50	50
Верхняя граница рабочего диапазона частот, ГГц		5,0				10,0	5,0		10,0	



*Размеры для справок

N:	Волновое чер-сопро- те- тудлен, зад 0м	Верхняя граница ра- бочего диапа- зона частот, Гц	A	B	C	D	E	F
1	50	3,0	$\phi 2^*$	3^*	$\phi 4^*$	$\phi 2,3^*$	$\phi 4 Aч$	3^*
2	75		$\phi 3^*$	5^*	$\phi 6,8^*$	$\phi 3,5^*$	$\phi 6,8^{*01}$	5^{*01}

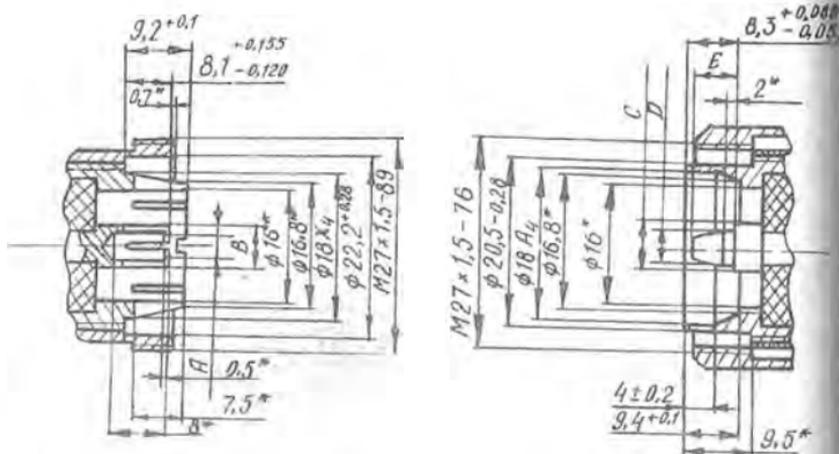
Р и с. Ш. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



* Размеры для справок

N ^o	Волно- чере- те- жа	Волно- роте сол- ление, мм	Верхняя граница ра- бочего диапа- зона частот, ГГц	A	B-B	C	D
3	50	3,0				$\phi 3A_4^*$	$\phi 3X_4$
4	75					$\phi 1,4A_4^*$	$\phi 1,4X_4$

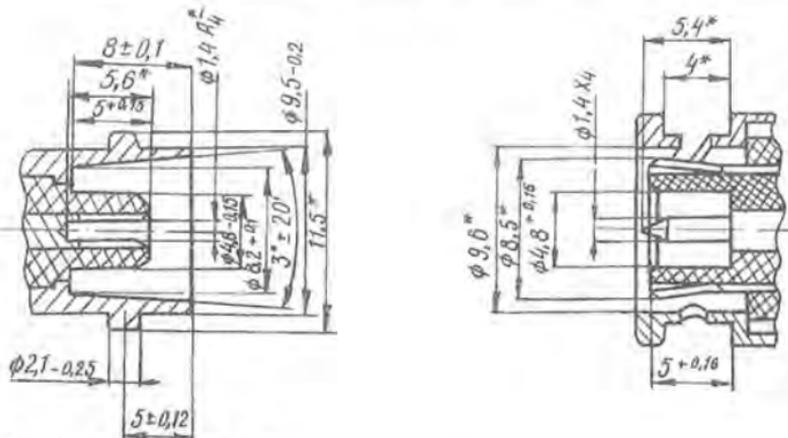
Р и с. 2П. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



* Размеры для справок

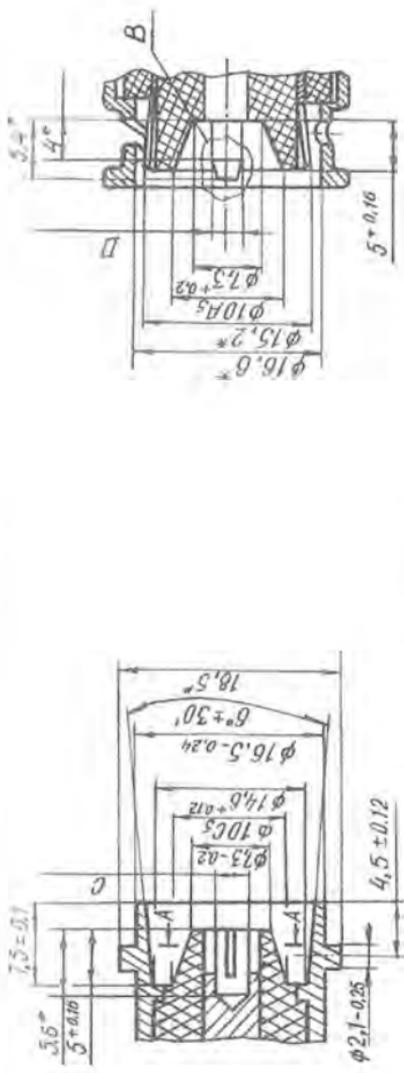
№ чертёжка	Волновое сопротивление, Ом	Верхняя граница рабочего диапазона частот, ГГц	A	B	C	D	E
5	50	7,5	$\phi 6 A_4^*$	$\phi 7^*$	$\phi 7^*$	$\phi 6 C_4$	$7,3^*$
6	75		$\phi 3,3^{*0,08}$	$\phi 4,6^*$	$\phi 4,6^*$	$\phi 3,3_{-0,08}^*$	$5,8^*$

Р и с. 3П. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



Ж Размеры для справок

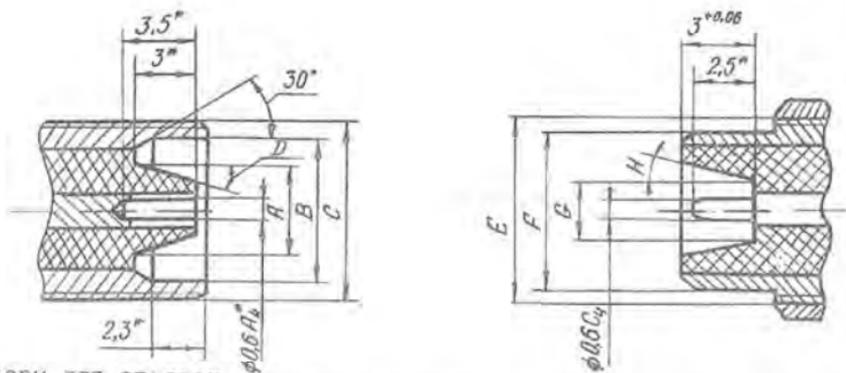
Р и с. 4П. Присоединительные размеры соединителя коаксиального: волновое сопротивление - 50 Ом; верхняя граница рабочего диапазона 10 ГГц



* Размеры для справок

№	Волно- чер- ное со- те- прявление, длина волны, ГГц	Верхняя граница ра- бочего диа- пазона, ГГц	A-A	B	C	D
8	50	10,0			$\phi 3A_4$	$\phi 3X_4$
9	75				$\phi 1.4A_4$	$\phi 1.4X_4$

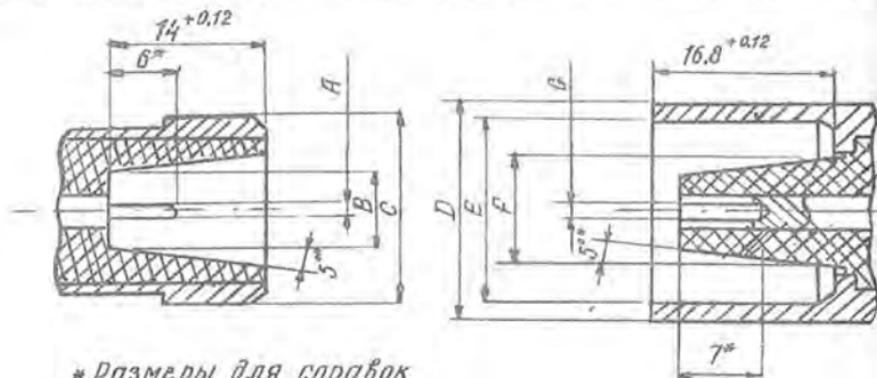
Р и с. 5й. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



* размеры для справок

№ чертёжа	Волновое сопротивление, Ом	Верхняя граница рабочего диапазона, ГГц	A	B	C	D	E	F	G	H
10	50	3,0	2,3*	$\phi 4,3^{+0,06}$	M6×0,5-7e6e	3*	M6×0,5-7e6e	$\phi 4,3^{+0,04}_{-0,12}$	$\phi 2,4_4$	3*
11	75		3,5*	$\phi 5,8^{+0,1}$	M8×0,5-7e6e	5*	M8×0,5-7e6e	$\phi 6,0^{+0,05}_{-0,15}$	$\phi 3^*$	5*

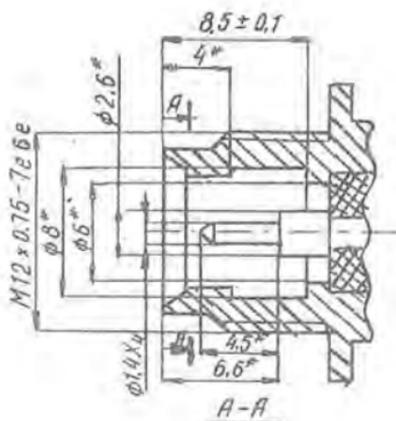
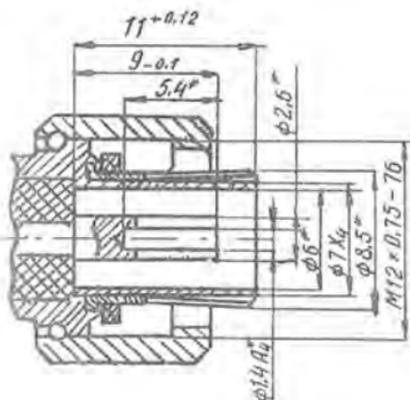
Р и с. 6П. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



* Размеры для справок

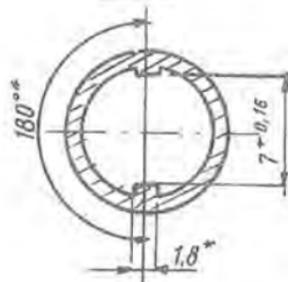
№ чертёжа	Волновое сопротивление, Ом	Верхняя граница рабочего диапазона, ГГц	A	B	C	D	E	F	G
12	75	10,0	$\phi 1,4 C_4$	$\phi 7^{+0,1}$	$\phi 17,7_{-0,12}$	$\phi 20,3_{-0,14}$	$\phi 17,7^{+0,16}$	$\phi 9,4_{-0,1}$	$\phi 1,4 A_0^*$
13	100		$\phi 0,8 X_4$	$\phi 9,6^{+0,1}$	$\phi 20,8_{-0,16}$	$\phi 25,4_{-0,16}$	$\phi 20,8^{+0,16}$	$\phi 12_{-0,12}$	$\phi 0,8 A_0^*$

Р и с. 7П. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных

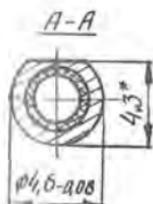
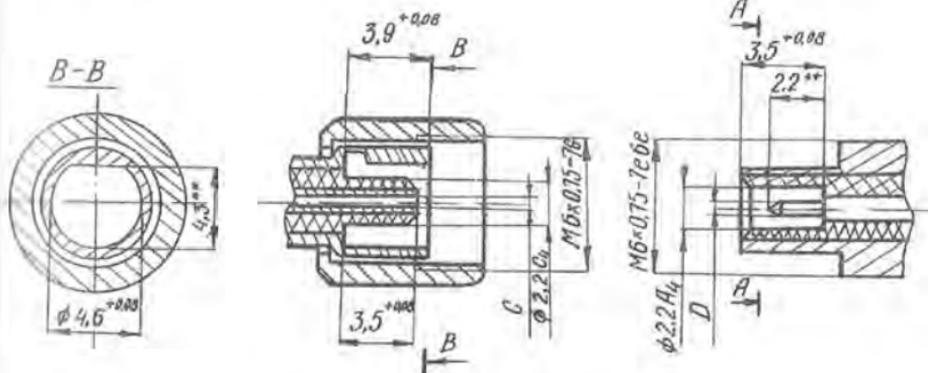


* Размеры для справок

Р и с. 8П. Присоединительные размеры соединителя коаксиального; волновое сопротивление - 50 Ом; верхняя граница рабочего диапазона Ю ГГц



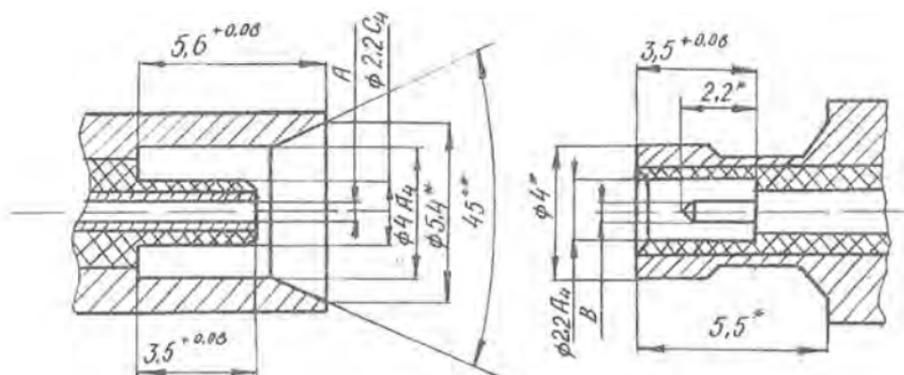
Р и с. 9П. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



N =	Волновое сопротивление, Ом	Верхняя граница рабочего диапазона, ГГц	C	D
15	50	5,0	φ 0,8 **	φ 0,8 Пр
16	75		φ 0,5 **	φ 0,5 Пр

* Размеры для справок

** Размеры для инструмента

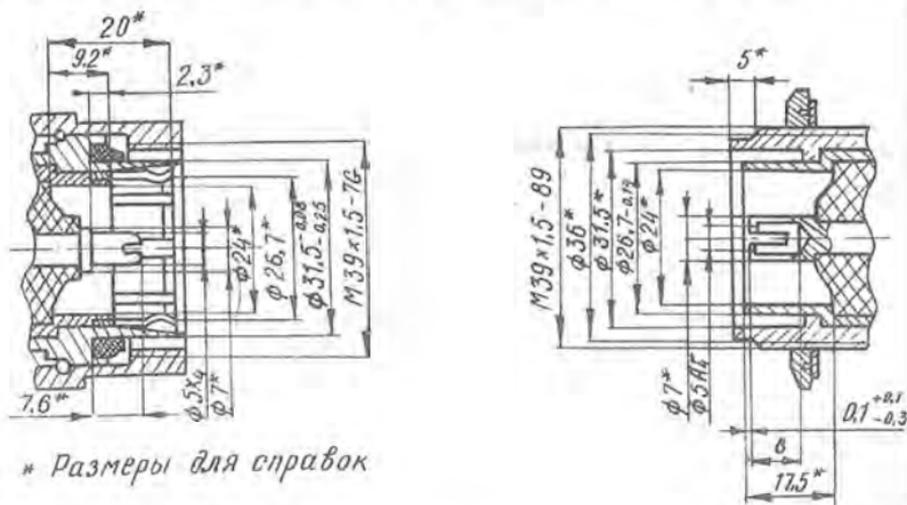


* Размеры для справок

** Размеры для инструмента

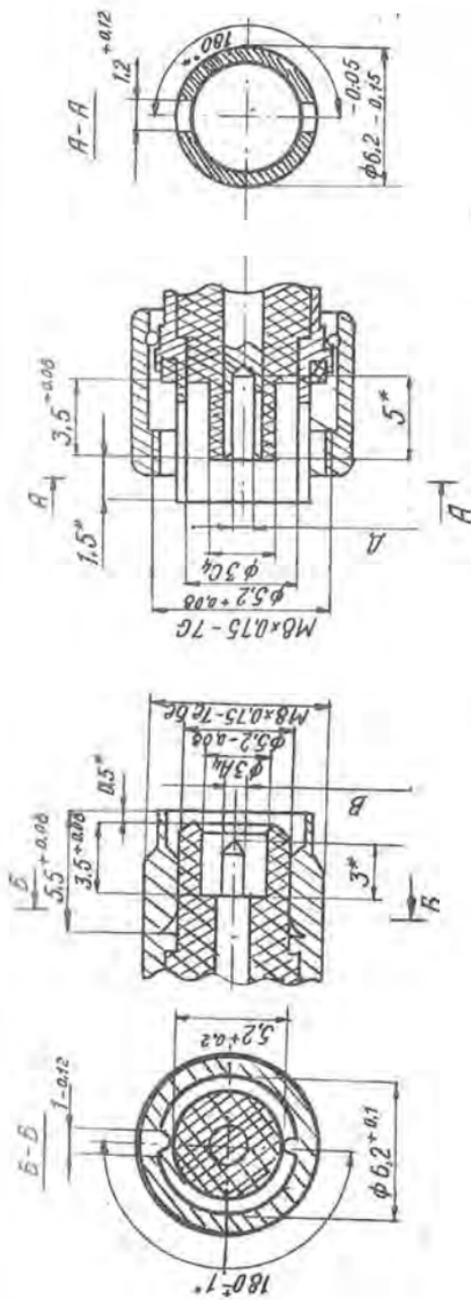
№ чертежа	Волновое сопротивление, Ом	Верхняя граница рабочего диапазона, ГГц	A	B
17	50	5,0	$\phi 0,8^{**}$	$\phi 0,8 \text{ Пр}$
18	75		$\phi 0,5^{**}$	$\phi 0,5 \text{ Пр}$

Р и с. IOP. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



* Размеры для справок

Р и с. IIP. Присоединительные размеры соединителя коаксиального: волновое сопротивление - 75 Ом; верхняя граница рабочего диапазона частот - 5 ГГц

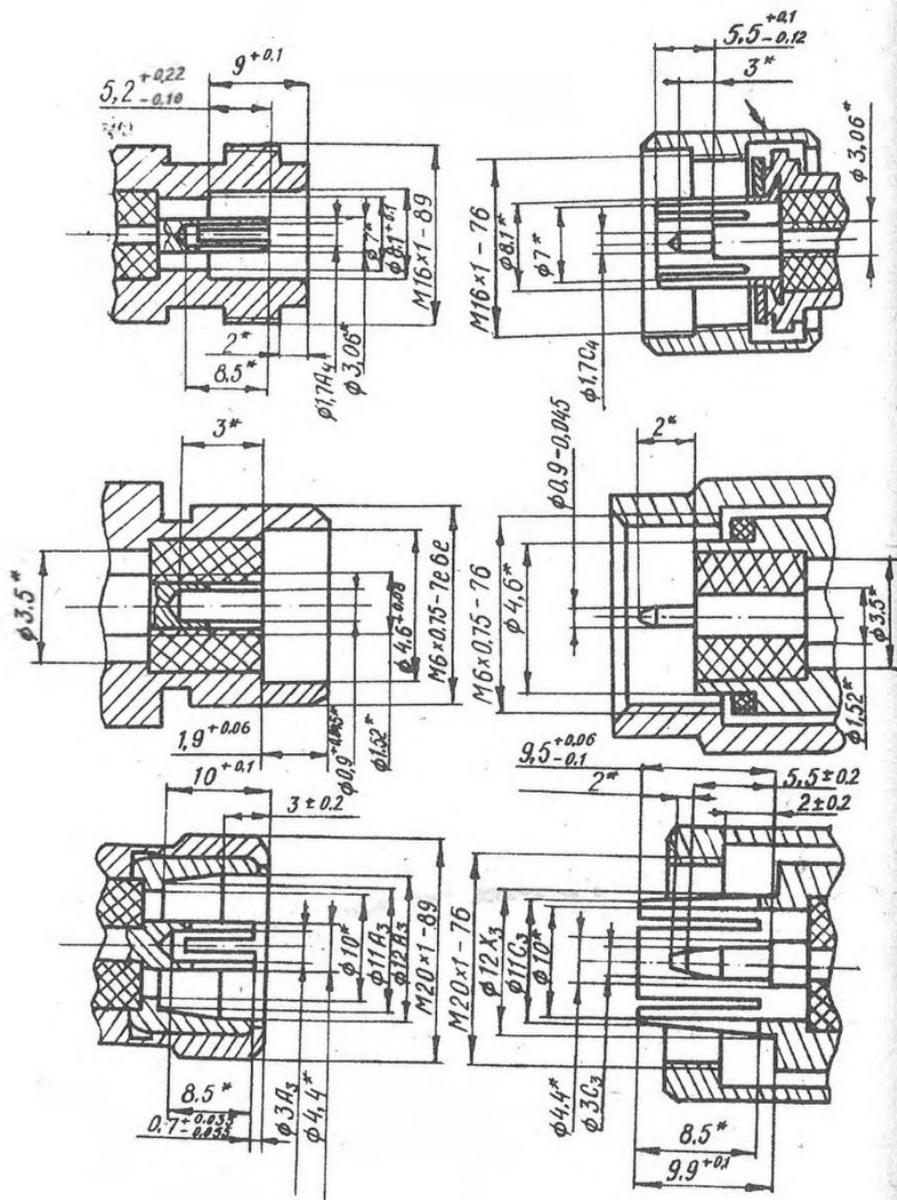


* Размеры для справок

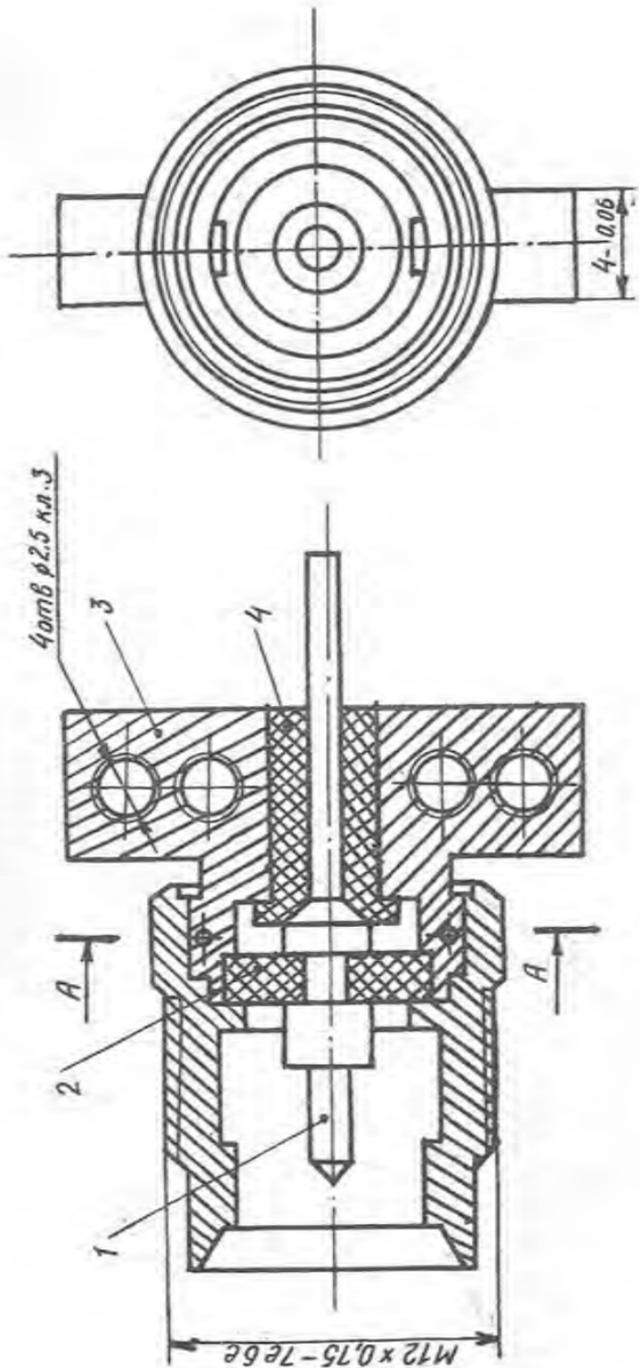
** Размеры для инструмента

№	Волно-чер-две со-те-плотиб-железные, мм	Волно-чер-две со-те-плотиб-железные, мм	Волно-чер-две со-те-плотиб-железные, мм
19	50	10,0	φ1X ₄
20	75		φ1A ₄ *
			φ0,7**

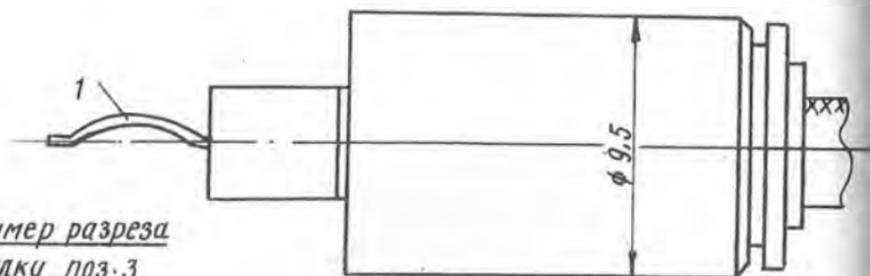
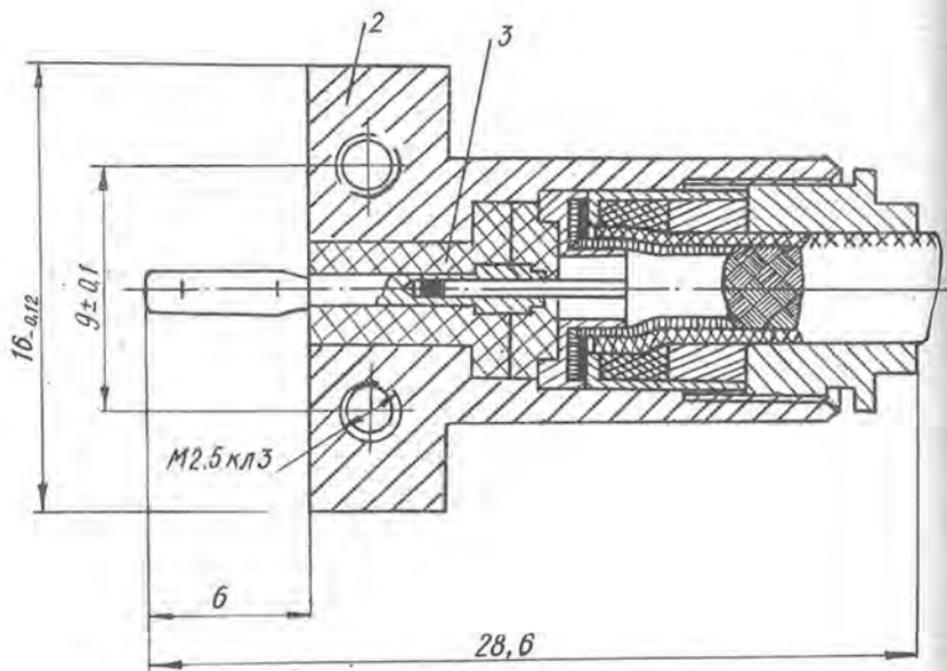
Р и с. 12П. Присоединительные размеры соединителей коаксиальных



Р и с. 13П. присоединительные размеры соединителей коаксиальных (чертежи 22, 23, 24)



Р и с. 141. Переход коаксиально-полосковый: 1 - штырь
2 - шайба, 3 - корпус, 4 - втулка (изолятор)



*Пример разреза
втулки поз.3*



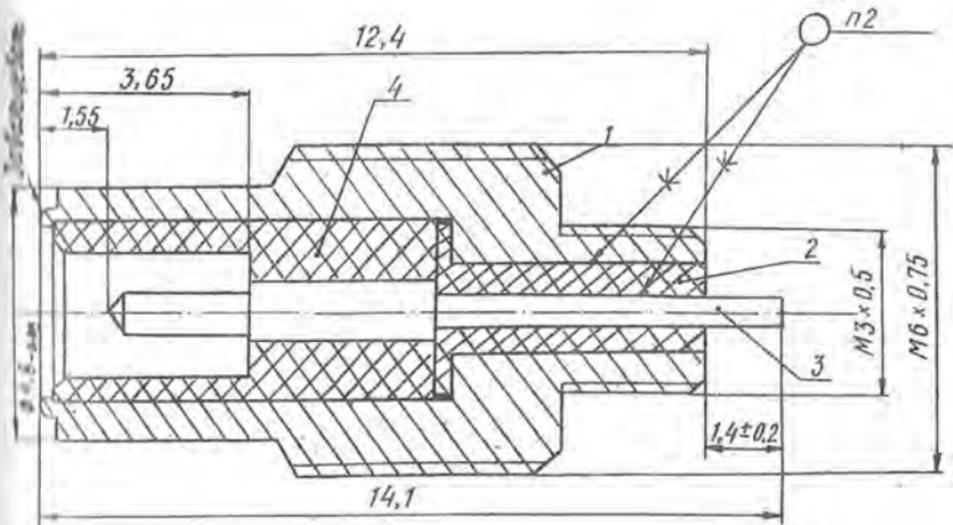
Р и с. 15П. Переход с полосковой линии на коаксиальный кабель:
1 - стержень, 2 - корпус, 3 - втулка

ПЕРЕХОДЫ КОАКСИАЛЬНО-ПОЛОСКОВЫЕ И ВОЛНОВОДНО-ПОЛОСКОВЫЕ

На рис. 14П приведен пример конструкции перехода от симметричной полосковой линии к коаксиальной с разъемом, показанным на чертеже № 14 (рис. 8П). Втулка 4 и шайба 2 выполнены из фторопласта-4, корпус 3 - из латуни ЛС-59, штырь 1 - из бронзы БрКМц 3-Г.

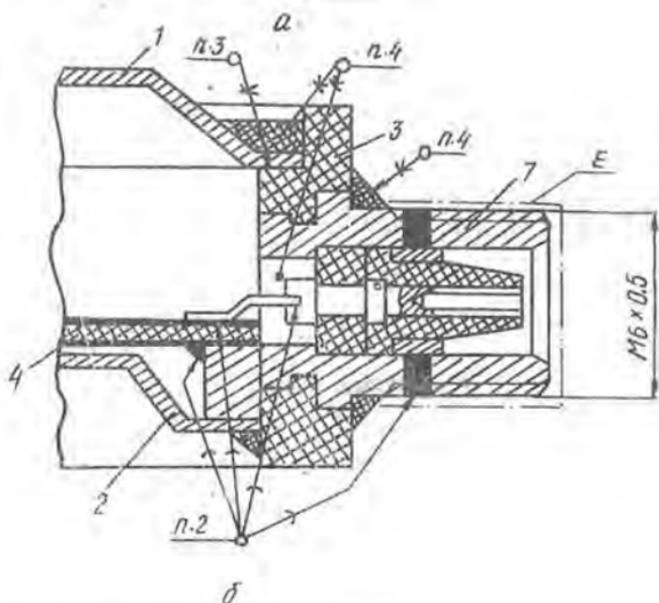
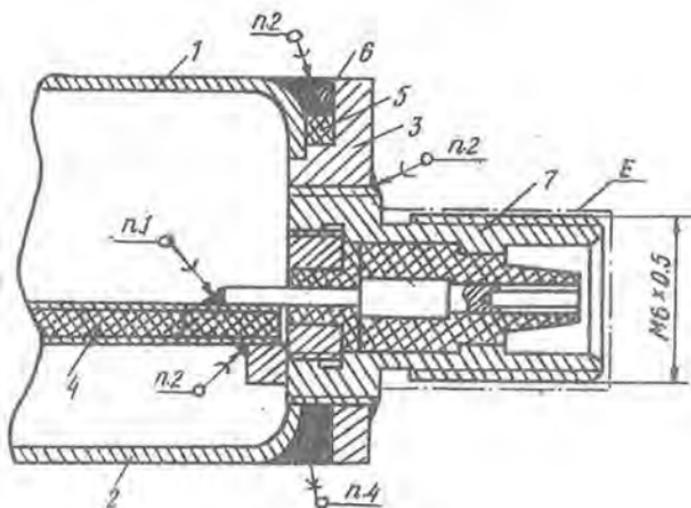
На рис. 15П показан пример конструкции перехода с симметричной полосковой линии на коаксиальный кабель. Корпус 2 выполняется из латуни ЛС-59, стержень с контактным лепестком 1 - из бронзы БрЮФ-6,5-0,15, втулка 3 - из фторопласта - 4.

На рис. 16П - пример конструкции перехода с микрополосковой несимметричной линии на коаксиальную линию с разъемом, чертеж 15 (рис. 9П). Штырь 3 выполняется из бронзы БрКМц 3-Г, корпус 1 - из латуни ЛС-59, изоляторы 4 и 2 - из фторопласта-4.



Р и с. 16П. Коаксиальный разъем для микрополосковой линии: 1 - корпус, 2 - втулка (изолятор), 3 - штырь, 4 - втулка (изолятор)

В герметичных разъемах изолятор 2 выполняется из специальной керамики, которая спекается с корпусом 1 и штырем 3.



Р и с. 17В. Переход коаксиально-микроросковой:
 1-крышка верхняя, 2-крышка нижняя, 3-корпус, 4-
 подложка, 5-уплотнение, 6-проволока, 7-разъем

На рис. 17П показаны два примера подключения коаксиально-микрополосковых переходов к микрополосковым узлам. Размеры коаксиального разъема 7 соответствуют чертежу I (рис. III). Технические требования, приводимые на чертеже для конструкций рис. 17П, а и б по большинству пунктов совпадают:

1. Все размеры для справок.
2. Паять припоем ПОСК-50.
3. Ставить на клей контактол К-4 после настройки.
4. Залить клеем К-400.
5. После пайки резьбу разъема калибровать на длине 5 мм.
6. Покрыть внутри (до установки крышек I,2) Гр.Вл-0,2, лаком УР-231, не допускается наличие лака в местах пайки и клейки крышек I,2 к корпусу.
7. Уплотнение места пайки крышки I (рис. 17, а) произвести нитками 5 в 2 слоя по периметру.
8. Конец проволоки 6 (рис. 17, а) отогнуть.
9. Крышки I,2 ставить после проверки электрических параметров.
10. Покрытие снаружи (после установки крышек I,2) Гр.Вл-0,2, лаком УР-231 кроме поверхности Е.

На рис. 18П показан пример конструкции волноводно-микрополоскового перехода [5], подсоединения его к микрополосковому узлу без крышек. Приведенная конструкция представляет собой соединение волноводно-коаксиального и коаксиально-микрополоскового переходов. Волновое сопротивление микрополосковой линии равно 50 Ом. Рабочая полоса частот перехода $\frac{2\Delta f}{f_0} = 15\%$ при КСВН $\leq 1,15$, потери на центральной частоте 0,1 дБ.

П р и л о ж е н и е 3

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Базовая длина l , в пределах которой измеряется шероховатость поверхности, определяется эксплуатационными требованиями к поверхности и, согласно ГОСТ 2789-73, выбирается из следующего ряда (мм): 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25.

Параметры шероховатости:

- среднеарифметическое отклонение профиля

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где y_i - ординаты неровностей;
 высота неровностей профиля, определяемая по 10 точкам

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min}}{5},$$

где $h_{i \max}$, $h_{i \min}$ - ординаты пяти высших и пяти низших точек
 в пределах базовой длины, измеренные от
 линии, эквидистантной средней линии и не
 пересекающей профиль;

наибольшая высота неровностей профиля R_{max} ;
 средний шаг неровностей

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где S_{mi} - шаг неровностей по средней линии;
 n - число шагов в пределах базовой длины;
 средний шаг неровностей по вершинам

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n - число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой
 длины.

Наиболее ходовые значения параметров R_a и R_z приведены
 в табл. 2П. Значения S_m и S приведены в табл. 3П.

Шероховатость поверхности указывается числовым значением
 (наибольшим, номинальным или диапазоном значений) параметра. Для
 обозначения шероховатости применяются следующие графические знаки:

- ✓ - поверхность должна быть образована удалением материала,
 например; точением, фрезерованием, травлением и т.д.;
- ✓ - поверхность подлежит образованию без удаления материала,
 например; литьем, ковкой, прессованием, волочением
 и т.п.;
- ✓ - метод образования поверхности не установлен.

Стандартом предусмотрена возможность назначить направление неровностей поверхности. Их обозначение на чертежах:

- | | | | |
|--|----------------------|--|------------------|
| | - параллельное, | | - произвольное, |
| | - перпендикулярное, | | - кругообразное, |
| | - перекрещивающееся, | | - радиальное. |

Т а б л и ц а 2П

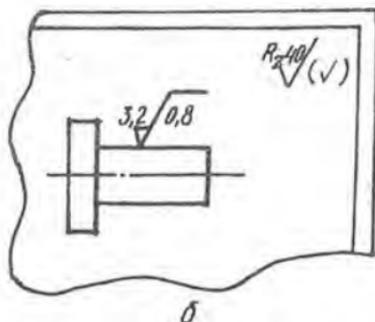
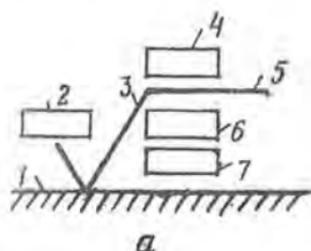
Значения R_a, R_z и t

Предпочтительные значения	$R_a, \text{ мкм}$	$R_z, \text{ мкм}$	Базовая длина $t, \text{ мм}$
	Значения		
50 25 12,5	80; 63; 50 40; 32; 25; 20 16; 12,5; 10	320; 250; 200; 160 125; 100; 80 63; 50; 40	8
6,3 3,2	10; 8; 6,3; 5 4; 3,2; 2,5	40; 32; 25; 20 16; 12,5; 10	2,5
1,6 0,8 0,4	2,5; 2; 1,6; 1,25 1; 0,8; 0,63 0,5; 0,4; 0,32	10; 8; 6,3 5; 4; 3,2 2,5; 2; 1,6	0,8
0,2 0,1 0,05 0,025	0,32; 0,25; 0,2; 0,16 0,125; 0,1; 0,08 0,063; 0,05; 0,04 0,032; 0,025; 0,02	1,6; 1,25; 1; 0,8 0,63; 0,5; 0,4 0,32; 0,25; 0,2 0,16; 0,125; 0,1	0,25
0,012	0,02; 0,016; 0,012 0,01; 0,008	0,1; 0,08; 0,063 0,05; 0,04; 0,032	0,08

Значения S_m и S , мм

10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	12,5
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	1,25
0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,0160	0,125
0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	-	-	-

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 19П, а. Если для всех поверхностей детали устанавливаются одни



Р и с. 19П. Обозначение шероховатости на чертеже: а - общий случай обозначения: 1 - поверхность, 2 - место указания параметров шероховатости, 3 - знак, 4 - место указания вида обработки, 5 - полка знака, 6 - место указания базовой длины, 7 - место условного обозначения направления неровностей; б - пример указания шероховатости

и те же требования к шероховатости, то общий знак шероховатости ставится в правом верхнем углу чертежа и на изображение детали не наносится. В правом верхнем углу чертежа указывается преобладающая (по количеству поверхностей) шероховатость и условное обозначение (\checkmark) - рис. 19П, б. Если шероховатость для части поверхностей не нормируется, то обозначение шероховатости в правый угол чертежа не выносится. Примеры обозначения на чертежах шероховатостей показаны в табл. 4П.

Примеры обозначения шероховатости

Метод образования поверхности		
не установлен	без удаления материала	с удалением материала
I	2	3
√	√	√
I. Задано на базовой длине ℓ :		
$R_a = 1,6$ мкм		
1,6 √	1,6 √	1,6 √
$R_z = 160$ мкм		
R_z 160 √	R_z 160 √	R_z 160 √
$S_m = 0,25$ мм		
S_m 0,25 √	S_m 0,25 √	S_m 0,25 √
R_a - в пределах от 1,6 до 1,25 мкм		
1,6 1,25 √	1,6 1,25 √	1,6 1,25 √
R_z - в пределах от 40 до 20 мкм		
R_z 40 20 √	R_z 40 20 √	R_z 40 20 √
$R_a = 0,025$; поверхность полировать, направление неровностей произвольное		
		0,025 \sqrt{M} полировать
2. Задано на длине, отличающейся от базовой		
$R_a = 0,32$ мкм; $\ell = 0,5$ мм		
0,32 $\sqrt{0,5}$	0,32 $\sqrt{0,5}$	0,32 $\sqrt{0,5}$

I	2	3
$R_z = 40 \text{ мкм};$	$t = 5 \text{ мм}$	
$R_z 40 \sqrt{5}$	$R_z 40 \sqrt{5}$	$R_z 40 \sqrt{5}$
3. Задано $R_a = 0,63 + 0,32 \text{ мкм}$ на длине $t = 2,5 \text{ мм},$ $S_m = 0,25 \text{ мм}$ на длине $t' = 8 \text{ мм}$		
$0,63$ $0,32 \sqrt{2,5}$ $S_m 0,25 \sqrt{8}$	$0,63$ $0,32 \sqrt{2,5}$ $S_m 0,25 \sqrt{8}$	$0,63$ $0,32 \sqrt{2,5}$ $S_m 0,25 \sqrt{8}$

Приложение 4

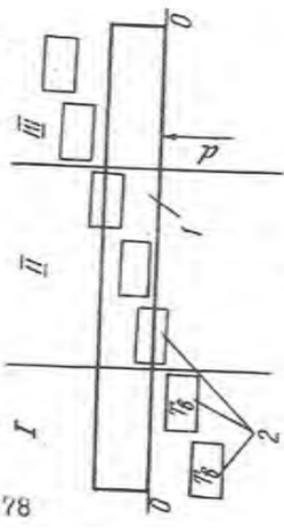
ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

В стандарте СТ СЭВ 145 - 75 приняты следующие условные обозначения отклонений; ES, EI - верхнее и нижнее отклонения отверстия; es, ei - верхнее и нижнее отклонения вала. Величина допуска зависит от размера детали и качества точности. Качество - совокупность допусков всех номинальных размеров, соответствующих одинаковой степени точности.

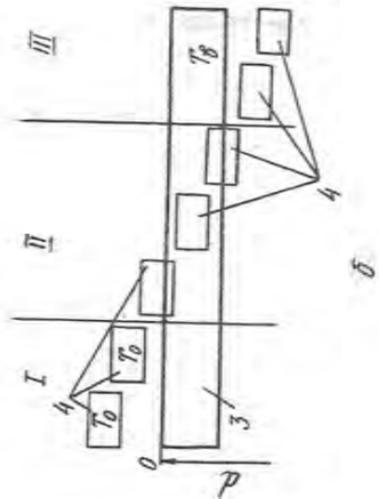
В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различаются посадки с зазором, с натягом и переходные (рис. 20П, а, б). Весь набор полей допусков отверстий и валов и буквенные обозначения их положений относительно нулевой линии показаны на рис. 20П, в, г.

Стандартом установлено 19 качеств: 0I, 0, I - I7. Для качеств от 0I до I даются допуски на концевые меры длины, с 2 до 4 - допуски на калибры и особо точные детали, с 5 до I7 - допуски для размеров деталей. Значения допусков в мкм для последних качеств приведены в табл. 5П. В табл. 6П показан минимально необходимый ограничительный отбор полей допусков для общего применения при номинальных размерах отверстий и валов от I до 500 мм.

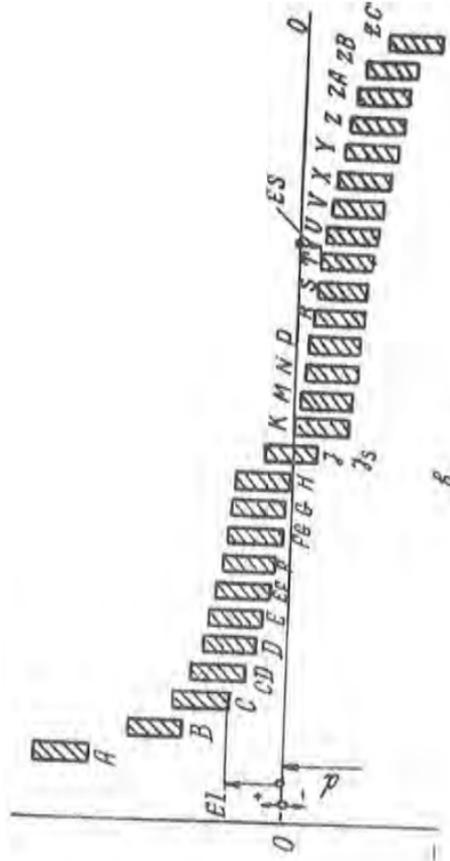
На чертеже размер, для которого указывается поле допуска, обозначается числом, за которым следует условное обозначение, состоящее



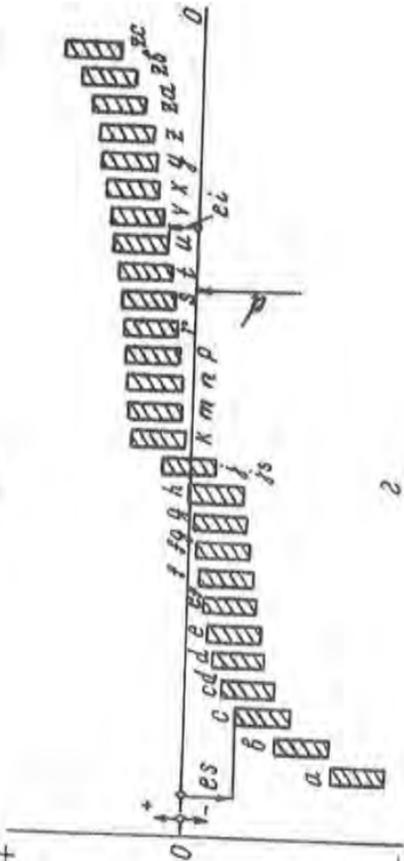
а



б



г



д

Р и с. 20П. Образование посадок и положения полей допусков: а, б - схемы образования посадок в системе отверстий и в системе вала соответственно; I - поле допуска основного отверстия, 2 - поле допуска валов, 3 - поле допуска основного вала, 4 - поля допусков отверстий, I - посадка с натягом, II - посадка с натягом; б, в - относительные положения полей допусков для данного интервала диаметров и квалитета и номинальный диаметр; а - нулевая линия, ρ - номинальный диаметр

Значения допусков по СТ СЭВ 145-75

Размеры, мм	К в а л и т е т ы												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Свыше 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
- " - 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
- " - 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
- " - 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
- " - 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
- " - 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
- " - 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
- " - 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
- " - 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
- " - 250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
- " - 315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
- " - 400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Примечание. Для размеров до I мм качества от I4 до I7 не применяются.

из буквы (иногда двух букв) и цифры (или двух цифр), обозначающей номер качества, например 30/h6, 30/H11. На чертеже соединения в обозначение посадки входит номинальный размер, общий для отверстия и вала, за которым следует обозначение полей допусков для каждого элемента, начиная с отверстия. Например, 30 H7/g6, или 30 H7 - g6, или 30 $\frac{H7}{g6}$.

Т а б л и ц а 61

Поля допусков валов и отверстий при номинальных размерах I-500 мм

Ква- ли- теты	Основные отклонения									
	a/A	b/B	c/C	d/D	e/E	f/F	g/G	h/H	js/Js	k/K
4							g4	h4	js4	k4
5							g5 G5	h5 H5	js5 Js5	k5 K5
6						f6	g6 G6	h6 H6	js6 Js6	k6 K6
7					e7	f7 F7	g7	h7 H7	js7 Js7	k7 K7
8			c8	d8 D8	e8 E8	f8 F8		h8 H8	js8* Js8	k8
9				d9 D9	e9 E9	f9 F9		h9 H9	js9* Js9*	
10				d10 D10				h10 H10	js10* Js10*	
11	a11 A11	b11 B11	c11 C11	d11 D11				h11 H11	js11* Js11*	
12		b12 B12						h12* H12	js12* Js12*	
13								h13* H13*	js13* Js13*	
14								h14* H14*	js14* Js14*	

	Основные отклонения											
	a/A	b/B	c/C	d/D	e/E	f/F	g/G	h/H	js/Js	js/Js	k/K	k/K
15								$\frac{h15^*}{H15^*}$	$\frac{js15^*}{Js15^*}$			
16								$\frac{h16^*}{H16^*}$	$\frac{js16^*}{Js16^*}$			
17								$\frac{h17^*}{H17^*}$	$\frac{js17^*}{Js17^*}$			

* Поля допусков, как правило, не предназначенные для посадок.

Примечание. Предпочтительные поля допусков указаны в квадратах.

Продолжение табл. 6П

Квалитеты	Основные отклонения											
	m/M	n/N	p/P	r/R	s/S	t/T	u/U	v/V	x/X	y/Y	z/Z	z/Z
4	$\frac{m4}{M4}$	$\frac{n4}{N4}$										
5	$\frac{m5}{M5}$	$\frac{n5}{N5}$	$\frac{p5}{P5}$	$\frac{r5}{R5}$	$\frac{s5}{S5}$							
6	$\frac{m6}{M6}$	$\frac{n6}{N6}$	$\frac{p6}{P6}$	$\frac{r6}{R6}$	$\frac{s6}{S6}$	$\frac{t6}{T6}$						
7	$\frac{m7}{M7}$	$\frac{n7}{N7}$	$\frac{p7}{P7}$	$\frac{r7}{R7}$	$\frac{s7}{S7}$	$\frac{t7}{T7}$	$\frac{u7}{U7}$					
8	$\frac{m8}{M8}$	$\frac{n8}{N8}$					$\frac{u8}{U8}$		$\frac{x8}{X8}$		$\frac{z8}{Z8}$	

Приложение 5

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ, КАЧЕСТВА ТОЧНОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При назначении квалитетов точности учитываются эксплуатационные требования, производственные возможности и себестоимость изготовления деталей. Во всех случаях, когда это не влияет на работоспособность и точность устройства, необходимо назначать невысокий квалитет для полей допусков посадок, особенно относящихся к отверстиям, которые сложнее обрабатывать, чем валы. Ориентировочные дан-

ные по точности обработки и параметрам шероховатости поверхностей при некоторых способах обработки приведены в табл. 7П. Согласно стандарту на допуски (ГОСТ 16093-70 и ГОСТ 17722-72) метрические резьбы могут выполняться со следующими отклонениями основных рядов, обозначаемыми буквами латинского алфавита:

для резьбы болтов - h, g, e, d ;

для резьбы гаек - H, G .

Поля допусков болтов и гаек установлены для трех классов точности: точного, среднего и грубого (табл. 8П).

Для обработки материалов, обладающих повышенной твердостью (например, твердые сплавы, кварц кристаллический, феррит, ситалл, минералокерамика, рубин синтетический и др.) применяется ультразвук. Ультразвуковое прошивание отверстий алмазным инструментом возможно при соотношении глубины к диаметру отверстия менее 180.

Ультразвуковая сварка применяется для получения неразъемного соединения металлов и полимерных материалов. Высокие характеристики сварного соединения получаются при сварке алюминия и его сплавов (толщина менее 4 мм), меди и ее сплавов (толщина менее 1,5 мм), тугоплавких металлов (молибден, кобальт, тантал, вольфрам и их сплавы) толщиной менее 0,75 мм. Из полимерных материалов наиболее хорошо свариваются термопластичные материалы (винипласт, оргстекло, полистирол, полиэтилен, полиамиды и др. пластмассы) толщиной менее 10 мм.

При изготовлении деталей из металлов, трудно обрабатываемых методами силового резания, применяется электроэрозионная размерная обработка. Особенно рекомендуется для изготовления деталей сложной формы в опытном и мелкосерийном производстве. При прецизионном прорезании электроискровым способом пазов шириной 30-8 мкм получается $R_z = 10-12$.

Для получения черновых отверстий диаметром до 1 мм применяется лазерная прошивка. Погрешности размеров сквозных отверстий в зависимости от режимов работы лазера составляют 2-10% величины диаметра. Многоимпульсная обработка глубоких отверстий обеспечивает точность размеров не выше 9 качества, а прецизионных неглубоких отверстий - не ниже 9 качества. Наименьшая шероховатость соответствует $R_z = 6,3 - 1,6$.

Лазерная резка испарением применяется для резки тонколистовых материалов, пленок на диэлектрических подложках, скрайбирования и резки полупроводниковых материалов. Для повышения скорости и качества резки тонколистовых материалов применяется газолазерная резка. Этим способом можно резать материалы относительно большой толщины (например, титан и титановые сплавы – до 1,5 мм, кварц – до 1,2 мм, керамика до 6,5 мм, фторопласт – до 0,7 мм, полистирол – до 0,5 мм). При лазерном скрайбировании хрупких диэлектрических материалов (керамика 99% Al_2O_3 , сапфир, феррит, кварц кристаллический, ситалл) и прецизионной резке полупроводниковых материалов надрезы (более глубокие по сравнению с полученными алмазным скрайбированием) не имеют сколов материала, загрязнений отходами обработки.

Лазеры используются для шовной сварки тонких листовых конструкций, толщиной 0,125 – 0,25 мм и сварки проволоки диаметром 0,01 – 1,0 мм. При изготовлении микросхем используется лазерная подгонка пленочных сопротивлений.

Для прямолинейного и контурного фрезерования пазов и щелей, шириной не менее 5 мкм, прошивания отверстий, диаметром не менее 5 мкм, применяется прецизионный метод электронно-лучевой обработки. Средняя точность обработки не выше 10 качества. Погрешность размеров при контурной обработке не менее 5 мкм.

Т а б л и ц а - 7П

Средние экономические точности способов обработки поверхностей и шероховатости

Способ обработки	Квалитет	Параметр шероховатости, мкм		Класс точности (при резьбо-нарезании)
		R_z	R_a	
I	2	3	4	5
<u>На токарных станках</u>				
I. Обтачивание				
черновое	I3 – I2	80	–	
получистовое	II – 9	40 – 20	–	
чистовое	8 – 7	–	2,5	
тонкое	7 – 6	–	I,25 – 0,63	

I	2	3	4	5
2. Сверление	I2 - II	40 - 20	-	
3. Зенкерование				
черновое	I2 - II	40	-	
получистовое	II	20	-	
чистовое	9 - 8	-	2,5	
4. Разертывание				
черновое	9 - 8	-	2,5-1,25	
чистовое	7 - 6	-	0,63-0,32	
тонкое	6	-	0,16	
5. Растачивание				
черновое	I3 - I2	80 - 40	-	
получистовое	II - IO	40 - 20	-	
чистовое	9 - 7	-	2,5 - 0,63	
тонкое	6 - 5	-	0,32-0,08	
6. Подрезка торца				
черновая	I2	40	-	
чистовая	II	20	-	
тонкая	8 - 7	-	2,5-1,25	
<u>Сверление</u>				
1. Спиральными сверлами				
диам.отв.3-50мм	I2 - I3	10 - 80	-	
2. Глубокое спец. сверлами				
диам.отв.3-30мм		10 - 40	-	
<u>Зенкерование</u>				
черновое	I2 - I3	80 - 40	-	
чистовое	IO - II	40 - 20	-	
<u>Развертывание</u>				
черновое	7 - 9	-	1,25 - 0,63	
чистовое	5 - 6	-	0,63 - 0,32	

I	2	3	4	5
<u>Нарезание резьб</u>				
1. Резцом при состоянии рабоч. части				
шлифованная	-	20 - I,25	-	Средний, груб.
доведенная на притире		-	2,5-0,65	Точный, сред.
2. Плашкой при состоян. раб. части				
нешлифованная		40 - 20	-	Грубый
доведенная на спец. притире		20 - 2,5	-	Средний
3. Метчиком при состоянии раб. части				
нешлифованная		40 - 20	-	Грубый
шлифованная		20 - I,25	-	Точный, средний
<u>Фрезерование</u>				
черновое	II - 9	I60 - 20	-	
чистовое	II - 9	от 20	до I,25	
тонкое	9 - 6		I,25-0,32	
<u>Шлифование</u>	9 - 5	20 - 10	2,5-0,02	
<u>Полирование</u>	6 - 5	0,1 - 0,025	0,04-0,02	
<u>Хонингование</u>	7 - 5		св. 0,63	

Т а б л и ц а 8П

Классы точности и поля допусков резьб

Класс точности	Поля допусков резьб	
	болтов	гаек
Точный	4h	4H 5H
Средний	6h, 6g, 6e, 6d	5H 6H, 6H, 6e
Грубый	8h, 8g	7H, 7e

Л и т е р а т у р а

1. Антонык В.Е., Рубинчик А.И., Грек Л.А., Королев В.А., Болотов Ю.Г. Краткий справочник технолога механического цеха. - Минск: Беларусь, 1968.
2. Бушминский И.П. Изготовление элементов конструкций СВЧ. - М.: Высшая школа, 1974.
3. Воллернер Н.Ф. Конструирование и технология изготовления радиоэлектронной аппаратуры. - Киев: Вища школа, 1970.
4. Глинкин Н.А., Воскресенский Н.А. Чтение и детализация чертежей радиоизделий. - М.: Высшая школа, 1971.
5. Карапетян В.Е., Мосоян К.С., Смолин А.И. Волноводно-микрораспределительный переход с малыми потерями 3 см диапазона. - Приборы и техника эксперимента. № 3, 1976, с. 165-167.
6. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. - Под ред. Р.Г.Варламова. - М.: Советское радио, 1972.
7. Лоцманов С.И., Петрушин И.Е. Пайка металлов. - М.: 1966.
8. Малорацкий Л.Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ. - М.: Советское радио, 1976.
9. Методика разработки технологических процессов на сборку и монтаж радиоаппаратуры с использованием типовых технологических операций. РТМ, часть I. ЮГО 054.000. ред. I-67, 1970.
10. Окулов И.Б., Шубин Б.М. Гальванические покрытия. - М.: Машгиз, 1962.
11. Петриковский Е.Л., Красников В.Ф. Маркирование изделий в радио-и электронной промышленности. - М.: Энергия, 1974.
12. ОСТ 4 ГО. 054. 029. Пропитка и покрытие радиоизделий и их деталей электроизоляционными лаками и эмалями. Типовые технологические процессы, ред I-71, 1971.
13. Средства автоматизации механической обработки: Справочное пособие. М.: 1962.
14. Справочник по пайке. М., 1975.
15. Устройства диапазона СВЧ. Волноводы прямоугольные из алюминиевых сплавов. Соединения фланцевые и элементы сборочные. Типовые технологические процессы ОСТ 4 ГО. 054. 110., ред. I-74, 1975.

16. Устройства диапазона СВЧ. Волноводы прямоугольные латунные. Соединения фланцевые и элементы сборочные. Типовые технологические процессы. ОСТ № Ю.054.Ю9, ред. I-74, 1975.
17. Ф е л ь д ш т е й н А.Л., Я в и ч Л.Р., С м и р н о в В.П. Справочник по элементам волноводной техники. - М.: Советское радио, 1967.
18. Ф о м и н А.В., Б о р и с о в В.Ф., Ч е р м о ш е н с к и й В.В. Допуски в РЭА. - М.: Советское радио, 1973.
19. Справочник технолога-приборостроителя. Под ред. П.В.Сыроватченко. - М.: Машиностроение, 1980, т. I.

О Г Л А В Л Е Н И Е

В в е д е н и е	3
I. Основы проектирования устройств СВЧ.....	5
2. Материалы, применяемые при конструировании СВЧ устройств.....	10
2.1. Проводниковые материалы.....	10
2.2. Диэлектрические материалы.....	19
3. Соединение деталей и узлов.....	22
3.1. Пайка цветных металлов.....	23
3.2. Склеивание материалов.....	30
4. Климатические воздействия на СВЧ устройства и способы защиты.....	43
5. Маркировка СВЧ устройств.....	54
Приложение I. Соединители радиочастотные. Их соединительные размеры.....	57
Приложение 2. Переходы коаксиально-полосковые и волноводно-полосковые.....	69
Приложение 3. Шероховатость поверхности.....	72
Приложение 4. Допуски и посадки.....	77
Приложение 5. Способы обработки, качества точности и шероховатости поверхностей.....	81
Л и т е р а т у р а	86

Р. А. Вечканова, Н. М. Галдина

КОНСТРУИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ СВЧ

Учебное пособие

Редактор Н. В. Касаткина

Техн. редактор Н. М. Каленюк

Корректор Н. С. Куприянова

ЕО00215. Подписано в печать 28.07.81 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага писчая белая. Печать оперативная. Усл. п. л. 5,1. Усл.-изд. л. 4,9. Тираж 600 экз. Заказ № 4556. Цена 15 коп.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт
им. С. П. Королева, г. Куйбышев, ул. Молодежаравейская, 151.

Областная типография им. В. П. Мухоморова Куйбышев, ул. Веникова, 60.