

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии

**В. Л. Ланин**

# **СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

по дисциплинам

**ТЕХНОЛОГИЯ РЭУ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА,  
ТЕХНОЛОГИЯ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ**

для студентов специальностей  
«Проектирование и производство РЭС»,  
«Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»,  
«Медицинская электроника»  
всех форм обучения

Минск 2007

УДК 621.396.6.(075.8)

ББК 32.844 я 73

Л 22

**Ланин, В. Л.**

Л 22 Сборочно-монтажные процессы : лаб. практикум по дисц. «Технология РЭУ и автоматизация производства», «Технология средств медицинской электроники» для студ. спец. «Проектирование и производство РЭС», «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС», «Медицинская электроника» всех форм обуч. / В. Л. Ланин. – Минск : БГУИР, 2007. – 50 с.: ил.

ISBN 978-985-488-098-3

Лабораторный практикум включает работы по исследованию процессов формирования монтажных соединений пайкой, сваркой, накруткой, обжатием, а также сборки микромодулей с поверхностным монтажом.

Издание предназначено для закрепления и углубления теоретических знаний, приобретения практических навыков работы с технологическим оборудованием и специализированной оснасткой.

**УДК 621.396.6. (075.8)**  
**ББК 32.844 я 73**

**ISBN 978-985-488-098-3**

© Ланин В. Л., 2007

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лабораторная работа №1</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПАЙКИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	4
<b>Лабораторная работа №2</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ ПРИ СОЗДАНИИ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	16
<b>Лабораторная работа №3</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МОНТАЖА НАКРУТКОЙ И ОБЖИМКОЙ .....	25
<b>Лабораторная работа №4</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МИКРОМОДУЛЕЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ МОНТАЖОМ .....	35
<b>Приложение.</b> Чертеж электронного микромодуля. Перечень элементов.....	49

## Лабораторная работа №1

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПАЙКИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

### Цель работы

Изучение технологических процессов пайки электронной аппаратуры и исследование влияния их параметров на качество паяных соединений.

### Теоретические сведения

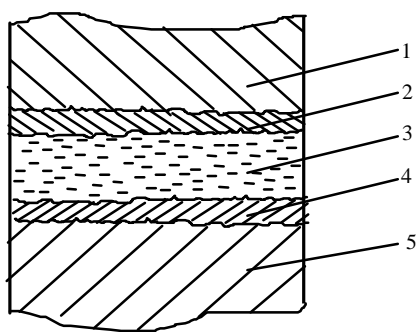
Проблемы формирования контактных соединений в изделиях электроники (ИЭ) имеют особую актуальность по целому ряду причин. Операции сборки и монтажа являются до сих пор самыми трудоемкими и занимают до 50–70 % общей трудоемкости изготовления изделий. Микроминиатюризация элементов и создание функционально сложных микроэлектронных устройств, в частности микропроцессоров, вызвали проблемы в области монтажа ИЭ. Функциональную сложность и высокую степень интеграции невозможно реализовать без совершенствования технологии соединений, число которых по правилу Рента растет как  $n = 4,5 m^{0,4}$ , где  $m$  – число вентилей в кристалле.

Разработка микропроцессоров с рабочей частотой сигнала до 3,5 ГГц и освоение электронных сборок 5-го поколения – многокристальных модулей – увеличивает число выводов до 1000. Статистические данные показывают, что до 80 % всех отказов в ИЭ происходят вследствие дефектов соединений, причем стоимость обнаружения и исправления отказа на этапе сборки блока обходится в 100 раз дешевле, чем при испытаниях аппаратуры.

Переход на бессвинцовые припои при монтаже ИЭ требует обеспечения хорошей смачиваемости поверхностей, оптимизации температурных профилей нагрева, использования эффективных методов контроля качества соединений. Основной тенденцией развития технологических процессов монтажа является применение групповых методов, использующих высокопроизводительное технологическое оборудование, позволяющее автоматизировать процесс пайки и управлять качеством паяных соединений.

**Пайкой** называется процесс соединения материалов в твердом состоянии путем введения в зазор расплавленного припоя, взаимодействующего с основным материалом и образующего жидкую металлическую прослойку,

кристаллизация которой приводит к образованию паяного соединения. Структура последнего включает следующие основные элементы (рис. 1.1): соединяемые металлы (1, 5), диффузионные зоны (2, 4), зону сплавления (3). В зависимости от соотношения физико-химических свойств основного металла и припоя и в соответствии с режимами и условиями процесса пайки различают следующие виды спаев: бездиффузионный, растворно-диффузионный, контактно-реакционный.



Пайка осуществляется при температурах ниже точек плавления соединяемых материалов и требует выполнения комплекса физико-химических и технологических условий: подготовки и обезжиривания паяемых поверхностей; удаления окисных пленок; активации паяемых материалов и при-

поя; взаимодействия на границе: «материал–жидкий припой»; кристаллизации зоны сплавления.

Подготовка паяемых поверхностей металлических деталей, не имеющих покрытия, заключается в очистке их от загрязнений, консервирующей смазки, краски, окалины, следов коррозии и выполняется с применением металлических щеток, гидропескоструйной обработки. Большинство деталей и электронных компонентов имеют гальванические покрытия на паяемых поверхностях: золочение, серебрение, покрытия сплавами олово–висмут, олово–свинец, олово–никель, которые защищают поверхности от окисления и облегчают процесс пайки. Вследствие хранения и естественного старения свойства гальванических покрытий, особенно олова–свинца, олова–висмута и других, ухудшаются, что вызывает трудности при выполнении пайки. Поэтому перед сборкой необходим входной контроль паяемости выводов компонентов.

**Паяемость** характеризует возможность образования соединения между паяемым материалом и припоем, т.е. способность материала смачиваться припоем, вступать с ним в физико-химическое взаимодействие и образовывать надежное паяное соединение. Улучшению паяемости способствуют очистка от загрязнений и удаление жировых и окисных пленок с помощью органических или неорганических растворителей. Обезжиривание выводов компонентов с гальваническими покрытиями ведут протиркой, струйным методом, промывкой

в ультразвуковых ваннах, используя спиртобензиновую смесь, уайт-спирит, трихлорэтилен.

Оксидные пленки с поверхностей металлов перед пайкой удаляют химическим или электрохимическим способом. Однако в процессе пайки вследствие нагрева происходит интенсивное взаимодействие паяемых металлов с кислородом воздуха. Для защиты соединяемых поверхностей и припоя от окисления и удаления образовавшихся при нагреве оксидных пленок применяют флюсы, защитные и восстановительные среды. Флюсующее действие растворов или паст проявляется в химическом взаимодействии их с оксидной пленкой, в результате чего происходит отрыв ее от поверхности металла, растворение во флюсе или перевод в шлак. Необходимо, чтобы флюс имел хорошую жидкотекучесть, не изменял свой состав, легко удалялся после пайки и не оказывал коррозионного воздействия на паяемый металл.

Флюсы подразделяются на смолосодержащие, смолосодержащие активированные, активные (кислотные), водорастворимые. Наиболее распространенным представителем смолосодержащего флюса является спиртоканифольный ФКСп, содержащий 10–30 % канифоли, растворенной в этиловом спирте. В канифоли содержатся абиентиновая и другие органические кислоты, растворяющие при температурах 230–300 °С оксиды меди и некоторых других металлов. Флюс характеризуется низкой активностью (1,0 на меди, 0,8 на никеле) и отсутствием коррозионного действия. В смолосодержащие активированные флюсы входят канифоль и кислотный активатор, что повышает их активность до 1,5 и усиливает коррозионное воздействие. Поэтому наряду с кислотным активатором – солянокислыми анилином, гидразином, салициловой кислотой – во флюсы вводят триэтаноламин, компенсирующий коррозионное действие активаторов. При нагреве активаторы выделяют хлористый водород или кислоту, которые взаимодействуют с оксидами основного металла и припоя с образованием легкорастворимых во флюсе хлоридов.

Остатки активированных флюсов после пайки удаляются тщательной промывкой в спиртобензиновой смеси. Активные флюсы на основе водных растворов солей, например хлористого цинка или кислот, характеризуются высокой активностью и сильным коррозионным воздействием на удаленных остатков, поэтому при пайке электронной аппаратуры не применяются. Перспективны для групповых методов пайки водорастворимые флюсы, представляющие спиртоглицериновые смеси с добавками кислотных

активаторов, легко удаляющихся после пайки промывкой в теплой воде.

Активация паяемых материалов и припоя энергией в форме теплоты необходима для перехода припоя в жидкое состояние, смачивания и растекания его по паяемым поверхностям, взаимодействия припоя с паяемым материалом. Нагрев материалов и припоя может осуществляться различными источниками энергии, в том числе электромагнитным излучением (ЭМИ), которые определяют способ пайки (рис. 1.2). Нагрев электропаяльником требует тщательного контроля за температурой паяльного жала, которая задается на 50–100 °С выше температуры ликвидуса припоя.



Рис. 1.2. Классификация способов нагрева при пайке

Рабочий конец жала должен быть зачищен, зачищен и облужен. В процессе пайки происходит эрозия жала вследствие растворения материала паяльного жала – меди в припое. После 750–1000 паяк жала теряет форму и нуждается в заточке. Его стойкость увеличивают нанесением никелевого покрытия толщиной до 100 мкм либо применением порошкового сплава медь–вольфрам.

Температуру жала стабилизируют закреплением термопары на расстоянии до 30 мм от рабочего конца и использованием электронного регулятора. Технические характеристики современных паяльных станций обеспечивают поддержание температуры жала на заданном уровне с точностью  $\pm 2\%$ . В паяльнике перенос тепла осуществляется за счет теплопроводности жала, которое служит аккумулятором тепла, выделяемого нагревателем. Взаимосвязь температуры жала длиной  $L$  в рабочей зоне  $T_{ж}$  и зоне нагрева  $T_{н}$  выражена отношением

$$T_{ж} = \frac{T_{н}}{\operatorname{ch}(\beta \cdot L)}. \quad (1.1)$$

Обобщенный параметр  $\beta$  равен:

$$\beta = \sqrt{\alpha \cdot \pi / \lambda \cdot S} = \sqrt{4\alpha / \lambda \cdot D}, \quad (1.2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи поверхности,  $\pi$  – периметр жала,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $S$  – площадь сечения,  $D$  – диаметр.

Расчет по формуле (1.2) для медного стержня паяльника диаметром 6 мм дает значение  $\beta=3,12$ , тогда  $T_{ж} = T_{н} / 1,2$ . В установившемся режиме количество теплоты, накопленное в медном стержне, зависит от мощности нагревателя и изменение его температуры может быть определено как

$$\Delta T = \frac{I^2 \cdot R \cdot t}{c \cdot m}, \quad (1.3)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость меди,  $m$  – масса жала.

Для процессов пайки перспективны бесконтактные способы нагрева: токами высокой частоты (ВЧ), инфракрасным (ИК) излучением, лазерным лучом. Индуцированные в металле детали токи ВЧ (150 – 2000 кГц) протекают главным образом по поверхности, поэтому тепловая энергия локализуется в поверхностном слое, толщина которого определяется глубиной проникновения тока:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \quad (1.4)$$

где  $\rho$ ,  $\mu$  – соответственно удельное электрическое сопротивление и магнитная проницаемость металла;  $f$  – частота тока.

Поскольку глубина проникновения зависит от частоты, то для толстостенных деталей (2 – 5 мм) применяют НЧ нагрев (66 кГц), для тонкостенных – ВЧ нагрев (440; 1760 кГц). Скорость нагрева пропорциональна  $\sqrt{\rho \mu}$ , удельная мощность нагрева составляет  $10^6$ – $10^8$  Вт/м<sup>2</sup>. Технологической оснасткой ВЧ нагрева является индуктор, представляющий собой катушку из нескольких витков полый медной трубки, по которой интенсивно прокачивается охлаждающая жидкость – вода. Витки индуктора располагают вблизи нагреваемых деталей (рис. 1.3), а КПД нагрева  $\eta$  равно

$$\eta = \frac{1}{1 + 7,25 \sqrt{\rho_1 / (\mu \rho_2)}}, \quad (1.5)$$

где  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – удельные электрические сопротивления индуктора и детали соответственно.



КПД индуктора тем выше, чем большие значения  $\rho_2$  и  $\mu$  для нагреваемого металла (для сталей  $\eta = 0,7-0,8$ , для медных сплавов  $0,5-0,6$ ). Мощность, выделяемую при ВЧ нагреве в детали, рассчитывают по формуле

$$P_{\text{д}} = \frac{V_{\text{эф}}^2 \cdot \cos j \eta}{R_{\text{д}}}, \quad (1.6)$$

где  $V_{\text{эф}}$  – эффективное напряжение на индукторе;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности, зависящий от расстояния  $h$  и магнитной проницаемости  $\mu$ ;  $R_{\text{д}}$  – электрическое сопротивление детали в зоне нагрева.

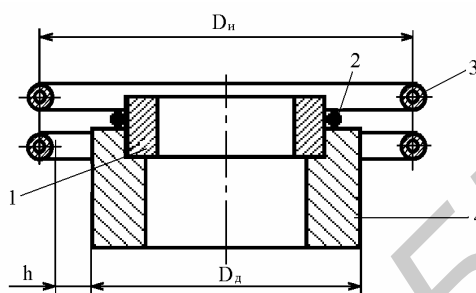


Рис. 1.3. Схема ВЧ нагрева: 1, 4 – детали, 2 – припой, 3 – индуктор

ИК излучение в диапазоне длин волн (0,008–0,8) мм применяется при пайке на воздухе, в контролируемой атмосфере и в вакууме. В соответствии с законом Стефана-Больцмана плотность интегрального излучения  $E$  равна

$$E = \xi \cdot C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4, \quad (1.7)$$

где  $T$  – температура тела,  $\xi$  – интегральная степень черноты тела,  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $5,67 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ .

Падающее на металлическую поверхность ИК излучение в основном отражается от нее. С увеличением электропроводности металлов растет их отражательная способность, поэтому лучшими материалами рефлекторов являются серебро, медь, алюминий. Источниками ИК излучения служат галогенные кварцевые лампы мощностью  $100-650 \text{ Вт}$  для точечных и  $1000-5000 \text{ Вт}$  для полосовых излучателей. Применяют локальную фокусировку отражателем эллиптической формы (а), прецизионную параболическим отражателем (б) и овально-цилиндрический отражатель (в) с сопловой насадкой (рис. 1.4).

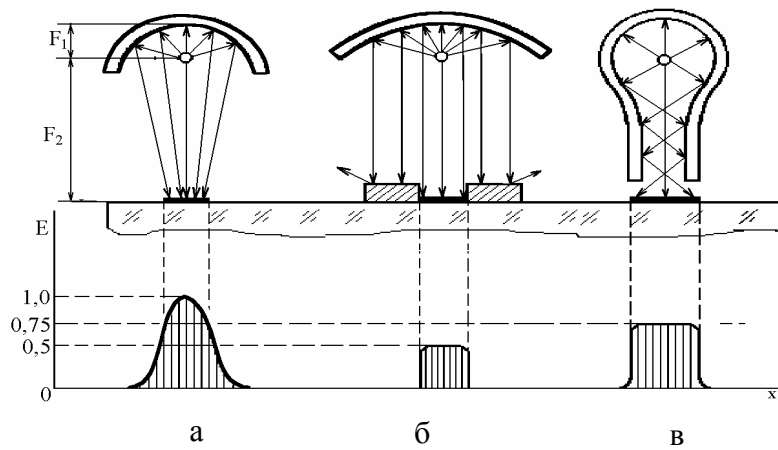


Рис. 1.4. Способы фокусировки ИК излучения

Суммарный поток энергии от параболического рефлектора равен

$$E_{\text{общ}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{отр}}, \quad (1.8)$$

где  $E_{\text{пр}}$ ,  $E_{\text{отр}}$  – прямое и отраженное излучение соответственно.

Поскольку профиль параболического рефлектора описывается уравнением

$$x^2 = y/(2L), \quad (1.9)$$

где  $L$  – расстояние от лампы до рефлектора, то прямое излучение в плоскости, перпендикулярной к оси лампы

$$E_{\text{пр}} = \frac{I \cdot R}{\pi \cdot h} \quad (1.10)$$

где  $I$  — интенсивность излучения источника, Вт/м<sup>2</sup>;  $R$  – радиус источника;  $h$  – расстояние до объекта.

Излучение, отраженное рефлектором, определяется выражением

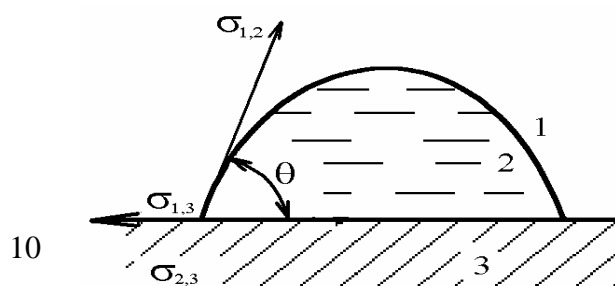
$$E_{\text{отр}} = \frac{2k \cdot I \cdot R}{\pi \cdot L}, \quad (1.11)$$

где  $k$  – коэффициент отражения.

При длине волны  $\lambda_{\text{max}} = 1,1$  мкм спектральная интенсивность излучения достигает 50–60 Вт/(стерадиан·мкм), а облученность равна  $(1,0–1,4) \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>.

Достоинства пайки ИК излучением: бесконтактный подвод энергии к паяемым деталям, точная регулировка времени и температуры нагрева, локальность нагрева. Недостатки процесса: затруднение при флюсовой пайке, так как испаряющийся флюс загрязняет лампы и рефлекторы.

Взаимодействие на границе «металл – жидкий припой» связано с процессами смачивания и растекания припоя по паяемой поверхности.



Процесс смачивания основного металла припоем состоит в замене межатомных связей, возникших между металлами в твердой фазе, на металлическую связь атомов на границе раздела между ними. Взаимодействие сил поверхностного натяжения определяет контактный угол смачивания  $\theta$  (рис. 1.5).

Рис 1.5. Схема равновесия сил поверхностного натяжения:

1 – газ; 2 – припой; 3 – металл

Условию равновесия капли на поверхности отвечает минимум свободной поверхностной энергии  $E_{\text{п}}$ ,

Изменение поверхностной энергии описывается уравнением Юнга:

$$\frac{dE}{dS} = \sigma_{1,3} - \sigma_{2,3} - \sigma_{1,2} \cdot \cos \theta = 0, \quad (1.12)$$

Из выражения (1.12) следует, что

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}}{\sigma_{1,2}}, \quad (1.13)$$

Величина  $\cos \theta$  служит параметром количественной оценки степени смачивания: полное смачивание при  $\cos \theta = 1$ ,  $\theta = 0$ ; ограниченное смачивание при  $0 < \cos \theta \leq 1$  ( $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ,  $\sigma_{2,3} \leq \sigma_{1,3}$ ); несмачивание при  $-1 \leq \cos \theta < 0$  ( $90^\circ \leq \theta < 180^\circ$ ,  $\sigma_{2,3} > \sigma_{1,3}$ ).

Работа сил адгезии  $W_a$  связана с образованием межфазной границы с энергией  $\sigma_{2,3}$  вместо единичных поверхностей с энергиями  $\sigma_{1,2}$  и  $\sigma_{1,3}$ :

$$W_a = \sigma_{1,2} + \sigma_{1,3} - \sigma_{2,3}. \quad (1.14)$$

Для преодоления сил сцепления частиц внутри самой жидкости (сил когезии) необходимо затратить работу сил когезии по образованию двух единичных поверхностей жидкости с энергиями  $\sigma_{1,2}$ , т.е.

$$W_k = 2\sigma_{1,2}. \quad (1.15)$$

Растекание припоя по поверхности основного металла происходит в результате взаимодействия сил поверхностного натяжения и сопровождается сближением жидкой и твердой фаз. Коэффициент растекания определяется из условия соотношения работ сил адгезии и когезии:

$$K_p = W_a / W_k = (\cos \theta + 1)/2 > 0. \quad (1.16)$$

под которой понимают избыток энергии поверхностных атомов вследствие несбалансированности сил связи в решетке.

Припой, растекаясь по паяемой поверхности, заполняет зазоры между деталями. Высота подъема припоя за счет капиллярных сил  $h$  равна:

$$h = \frac{4 \sigma_{1,2} \cos \theta}{D \rho g}, \quad (1.17)$$

где  $D$  – диаметр капилляра,  $\rho$  – плотность припоя,  $g$  – ускорение свободного падения.

Взаимодействие основного металла с расплавленным припоем заключается в растворении металла в припое и протекании процесса диффузии. С повышением температуры возрастает избирательное растворение элементов, входящих в состав основного металла, наблюдается значительное проникновение припоя по границам зерен основного металла, увеличиваются размеры диффузионной зоны. Диффузионные процессы при пайке позволяют увеличить прочность соединений, однако образование 11 интерметаллидных соединений в спае при глубокой взаимной диффузии компонентов вызывает снижение прочности соединений. Максимальная прочность паяных соединений припоем ПОСб1 обеспечивается при ширине диффузионной зоны порядка 1,0–1,2 мкм.

Заключительной стадией образования паяного соединения является кристаллизация расплава, которая может происходить как путем достройки отдельных зерен основного металла, так и путем образования новых зерен. На процесс кристаллизации значительное влияние оказывает величина зазора, которая определяет температурный градиент расплава и скорость охлаждения.

Качество паяных соединений оценивают путем визуального осмотра при помощи бинокулярного микроскопа типа МБС-9, оценкой структуры припоя по специально подготовленным шлифам, оценкой усилия разрыва, вибропрочности и надежности соединений. При визуальном осмотре выявляются такие дефекты соединений, как раковины, трещины, недопай, перегревы и т.д.

### **Порядок выполнения работы**

1. Подготовить электропаяльник ЭПСН к работе, для чего осуществить запиловку рабочей части жала в соответствии с рис. 1.6 и залудить её.

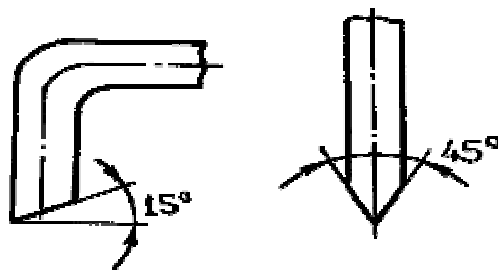


Рис. 1.6. Форма заточки рабочей части жала

2. Исследовать влияние напряжения питания нагревателя паяльника на температуру рабочей части жала с помощью термопары типа ХК, закрепленной на жале, и измерителя температуры – милливольтметра М333К. Значение температуры определять в установившемся тепловом режиме в соответствии с табл. 1.1. Построить график изменения температуры от напряжения питания.

Таблица 1.1

Температура жала паяльника

Температура	Напряжение питания, В						
	-20 %	-10 %	-5 %	ном. 40 В	+5 %	+10 %	+20 %
T, °C							

3. Определить точность поддержания температуры жала унифицированного паяльника, питаемого от паяльной станции ТЕРМИТ-ПЗ6К42.

Включить тумблер СЕТЬ, при этом должен загореться индикатор на передней панели. Переключатель ТЕМПЕРАТУРА установить на отметку 260, прижать жало паяльника к термопаре блока контроля температуры БКТ-260. Если загорится индикатор 260 °C, то комплект считается настроенным. При индикации «<» или «>» произвести подстройку ручкой ТОЧНО. Устанавливая дискретно рабочие температуры  $T_{\text{раб}}$  (табл. 1.2) и измеряя фактические  $T_{\text{измер}}$  жала паяльника с помощью выносной термопары ХК и милливольтметра М333К, оценить точность поддержания температуры:

$$\delta = \frac{|T_{\text{раб}} - T_{\text{измер}}|}{T_{\text{раб}}} \cdot 100\% \quad (1.18)$$

Таблица 1.2

Точность поддержания температуры паяльника

Параметры контроля	Рабочая температура, °C				
	260	280	300	320	340
$T_{\text{измер}}, ^\circ\text{C}$					
Точность $\delta, \%$					

Включить паяльную станцию Pros Kit клавишей на передней панели. Клавишу DISPLAY перевести в положение SET, ручкой MIN–MAX установить требуемые рабочие температуры на табло в соответствии с табл. 1.2. Клавишу DISPLAY перевести в положение READ и в установившемся режиме измерить реальные температуры жала термопарой. По результатам измерений построить графики точности поддержания температуры для 2-х паяльных станций.

4. Определить геометрические размеры спаия встык и рассчитать на ПЭВМ прочность паяного соединения

$$F = \sigma_B S_{пр}, \quad (1.19)$$

где  $\sigma_B$  – предел прочности припоя,  $S_{пр}$  – сечение припоя.

5. Исследовать влияние температуры пайки на прочность и электрические свойства паяных соединений. Для этого выполнить пайку тестовых образцов встык при времени пайки 5 с, в соответствии с табл. 1.3, изменяя напряжение питания паяльника и используя флюс по варианту индивидуального задания.

Переходное электрическое сопротивление соединений измерить по методу разности потенциалов между специальными отверстиями на образцах (рис. 1.6), после чего усилие разрыва определить на разрывной машине РП-100. Данные свести в табл. 1.3. Построить графические зависимости  $P, R = f(T)$ .

Таблица 1.3

Прочность и переходное сопротивление соединений

Напряжение питания U, В	Температура пайки T, °С	Переходное сопротивление R, мОм	Усилие разрыва P, МПа
36 ... 50			

6. Исследовать процесс ИК пайки. Включить тумблер СЕТЬ на блоке питания, установить рабочее напряжение 160 В. Работу с ИК источником вести в защитных темных очках. Исследовать зависимость температуры в рабочей зоне ИК нагревателя от времени нагрева и напряжения питания (табл. 1.4). Построить графические зависимости  $T^0C = f(t, U)$ . Определить скорость нарастания температуры  $\Delta T/\Delta t$  на начальном и заключительном участках.

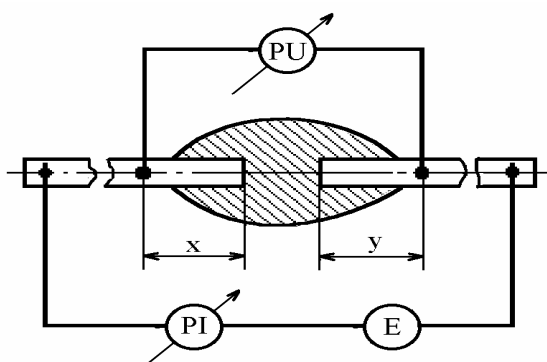


Рис.1.6. Схема измерения разности потенциалов на паяном соединении

Таблица 1.4

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Применяемый флюс	Напряжение питания ИК лампы U, В			
		Время нагрева, с			
		160	180	200	210
1	ФКСп	0–140	0–120	0–80	0–5
2	ФКТ	0–120	0–100	0–60	0–5

7. Получить образцы плат и элементов. Согласно эталонному образцу нанести паяльную пасту на места будущих паяк, установить пинцетом элементы на плате и поместить сборку в рабочую зону ИК нагревателя. При оптимальных режимах выполнить процесс ИК пайки микроблока. Оценить качество паяных соединений, используя микроскоп МБС-2. Зарисовать топологический чертеж микроблока, определить дефектные соединения и причины их возникновения.

### Содержание отчета

1. Цель работы и задачи исследований.
2. Схема используемого в работе метода ИК пайки и расчет характеристик.
3. Схема измерения переходного сопротивления соединения.
4. Эскиз соединения и расчет его прочности.
5. Таблицы экспериментальных данных. Топология микроблока.
6. Графики экспериментальных зависимостей.
7. Анализ полученных данных, оптимальные технологические режимы.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные физико-химические процессы при пайке.
2. Что такое паяемость материалов?
3. Характеристики смачивания и растекания припоя.
4. Способы активации процессов пайки.
5. Применяемые припои и флюсы.
6. Критерии качества паяных соединений.

### **Литература**

1. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: учебник / А. П. Достанко [и др.]. – Минск : Выш. шк., 2002. – 415 с.
2. Ланин, В. Л. Пайка электронных сборок / В. Л. Ланин. – Минск : НИЭИ Мин. экономики, 1999. – 116 с.
3. Емельянов, В. А. Технология электрических соединений в производстве электронной аппаратуры / В. А. Емельянов, В. Л. Ланин, А. А. Хмыль. – Минск : Бестпринт, 1997. – 113 с.
4. Ланин, В. Л. Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии при пайке в электронике / В. Л. Ланин // Электронная обработка материалов. – 2002. – №2. – С.17 – 20.



## Лабораторная работа №2

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ ПРИ СОЗДАНИИ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### Цель работы

Изучение процессов сварки в технологии электронной аппаратуры и исследование влияния технологических параметров на качество соединений.

### Теоретические сведения

*Сваркой* называется технологический процесс получения неразъемных соединений деталей с помощью жидкой металлической фазы либо контактированием в твердой фазе. Образование металлической связи происходит в две стадии. На первой осуществляются сближение поверхностей деталей и образование физического контакта между ними путем увеличения числа и размеров пятен контакта по мере слияния гребешков микронеровностей; на второй происходит активация зоны контакта за счет введения энергии. Там, где энергия активации суммируется с энергией упругих напряжений искажений кристаллической решетки, возникает активный центр, или очаг схватывания. Затем образование межатомных связей распространяется по всей площади контакта. Наибольшее распространение при сварке нашли следующие способы активации:

- тепловой энергией (Т процессы);
- тепловой энергией и специальной атмосферой (Т, А процессы);
- энергией деформации давлением (Р процессы);
- тепловой и деформационной энергией (Р, Т процессы);
- ультразвуковой энергией (Р, f процессы);
- энергией деформации ползучести (Р, Т, t, А процессы).

Характерной особенностью сварного соединения является зональная структура (рис. 2.1). Литое ядро 1, которое имеет место при сварке плавлением, представляет собой закристаллизовавшуюся жидкую фазу. Граница раздела 2 между соединяемыми фазами имеет протяженность 30–90 нм. Приконтактная зона диффузионного легирования 3 имеет размеры несколько десятков микрон. При сварке в твердой фазе она совпадает с зоной локальных деформаций. Зона термического влияния 4 обусловлена неравномерным нагревом деталей и имеет

размеры от десятков микрометров до единиц миллиметров в зависимости от способа сварки.

Внутренние термические напряжения могут вызвать деформации и явиться причиной трещин в основном металле. Требованиям технологичности сварных конструкций наиболее полно удовлетворяют стыковые соединения, которые создают меньшие напряжения, чем нахлесточные или бортовые. Для уменьшения напряжений объем металла шва должен быть минимальным. Следует избегать резкого изменения сечений свариваемых деталей, а расстояние между параллельными швами выбирать в 4-5 раз больше толщины деталей.

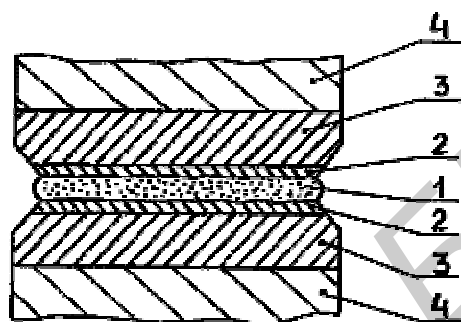


Рис. 2.1. Структура сварного соединения

Свариваемость металлов зависит от их химического состава, структуры и содержания углерода. С повышением прочности сталей при их легировании углеродом растет чувствительность к нагреву, фазовым превращениям и увеличивается опасность возникновения трещин в шве.

Наибольшее применение в технологии электронной аппаратуры получила контактная точечная сварка, которой лучше всего свариваются металлы с высоким электросопротивлением, низкой теплопроводностью, высокой пластичностью и малой окисляемостью при температуре сварки. Указанным требованиям удовлетворяют никель, ковар, платинит, мягкая сталь. Наихудшую свариваемость имеют медь и алюминий.

В случае сварки двух разнородных металлов значительное влияние на свариваемость оказывает степень взаимной растворимости. Наилучшей свариваемостью обладают металлы с полной взаимной растворимостью, хорошей – металлы с ограниченной растворимостью. При сварке металлов, образующих хрупкие интерметаллические соединения, необходимо ограничивать время существования жидкой фазы и ее температуру, не допуская образования значительного количества хрупких соединений.

Особенностью контактной точечной сварки является то, что теплоотвод осуществляется в основном через электроды, и изотермы максимальных температур смещаются к периферии, где наблюдается максимальная плотность тока. Поэтому температура плавления достигается, прежде всего, на внешнем контуре зоны контакта, что сопровождается выбросом жидкого металла. Выбросы устраняются регулированием сварочного тока и поддержанием сопротивления электродов в пределах 3–5 % от номинального значения.

Разновидностью контактной сварки является конденсаторная, в которой сварочным является ток разряда конденсатора. Этот вид сварки имеет следующие достоинства: строгое дозирование энергии на каждую операцию; незначительное время сварки (до нескольких микросекунд), что обеспечивает небольшую зону термического влияния; получение стабильных по величине и форме импульсов тока, что позволяет сваривать детали разной толщины; небольшая потребляемая мощность и значительная мощность разряда.

Схема конденсаторной сварки (рис. 2.2) включает: повышающий трансформатор  $T1$ , который служит гальванической развязкой с питающей сетью; батарею конденсаторов  $C1–Cn$ , подключаемых параллельно переключателем  $S2$ ; выпрямительный диод  $VD1$ ; понижающий трансформатор  $T2$ ; сварочные электроды 1; резистор  $R1$ ; переключатель рода работ  $S1$ . Свариваемые детали 2 зажимаются между электродами 1 с силой  $F$ , после чего через них пропускают импульс сварочного тока.

Основными факторами, влияющими на качество сварных соединений, являются: энергия импульса, определяемая емкостью сварочных конденсаторов  $C$  и напряжением зарядки  $U$ ; усилие сжатия и сечение электродов, состояние свариваемых поверхностей, форма импульса сварочного тока.

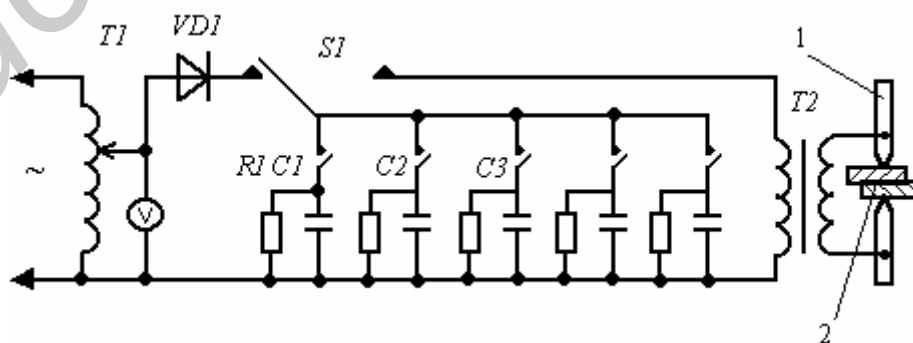


Рис. 2.2. Схема конденсаторной сварки

Затрудняют образование сварных соединений органические пленки на поверхности металла, которые необходимо удалить. Форма импульса сварочного тока и длительность его протекания зависят от емкости сварочных конденсаторов, коэффициента трансформации  $K_{тр}$ , индуктивности контура  $L$ , суммарного активного сопротивления контура  $R$ . В зависимости от соотношения параметров разрядного контура наблюдаются три формы импульсов сварочного тока (рис. 2.3): аperiодическая (а); критического затухания (б); колебательная (в). Рабочей является аperiодическая форма тока. Колебательный режим приводит к нестабильности качества сварных соединений, что устраняется изменением величины  $K_{тр}$  либо  $C$ . Поскольку сварочный цикл включает как разрядку, так и зарядку конденсаторов, то производительность процесса зависит от постоянной времени заряда конденсаторов до номинального напряжения. Для различных машин точечной конденсаторной сварки паузы между сварками для зарядки составляют от 0,5 до 1,5 с. Конденсаторная сварка осуществляется на монтажно-сварочном столе И 020.0002, имеющем следующие технические данные: емкость батареи конденсаторов 10–340 мкФ, напряжение зарядки 100–250 В, усилие сжатия электродов 20–180 Н, толщина свариваемых деталей 0,1–0,3 мм.

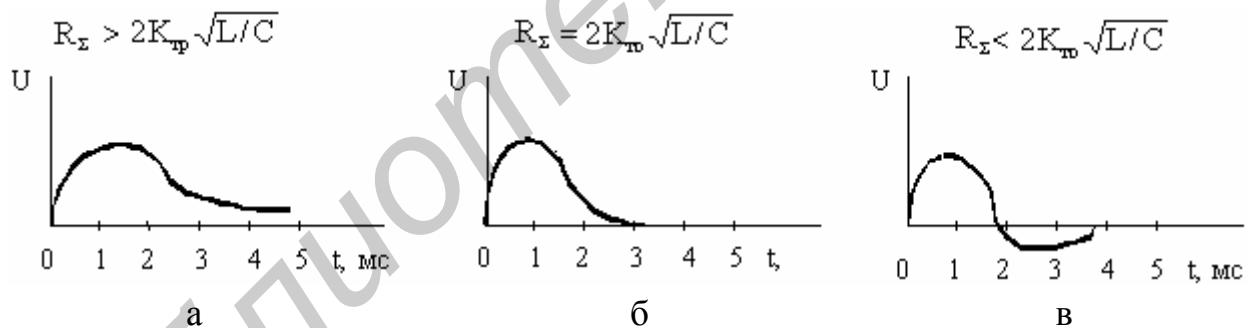


Рис. 2.3. Формы импульсов сварочного тока

Сваркой присоединяют контакты реле, переключателей, детали телескопических антенн, выводы к дискретным радиоэлементам, лепестки заземлений к кожухам и шасси приборов, герметизируют корпуса полупроводниковых приборов и интегральных схем, собирают испарители для термического напыления в вакууме и др.

Монтажные операции, осуществляемые расщепленным электродом (термокарандашом) на установке НТ-1029, выполняются за счет пропускания дозированных электрических импульсов через электрод (рис.

2.4), изготовленный из вольфрама или молибдена в виде двух токопроводящих частей, разделенных зазором 0,02–0,25 мм, и выделения тепла, достаточного для получения сварных и паяных соединений. Термокарандаш применяется для монтажа навесных элементов в микросборках СВЧ диапазона: разварки (золотых, коваровых) выводов элементов на контактные площадки микроплат, покрытые никелем или золотом; пайки золотой проволоки, навесных элементов на луженые контактные площадки микроплат.

Сварка проводится несколькими импульсами тока, обеспечивая предварительный нагрев места сварки. Усилие прижима 0,2–1,5 Н создается в момент нагрева до максимальной температуры и снимается до окончания действия импульса. Термокарандашом можно вести монтаж на микроплатах с разной глубиной проникновения инструмента, выполнять сварные соединения в различных плоскостях при незначительной термической нагрузке на элементы. Недостатки: необходимость специальных покрытий, невозможность групповой технологии, частая очистка электрода, точное позиционирование при сварке.

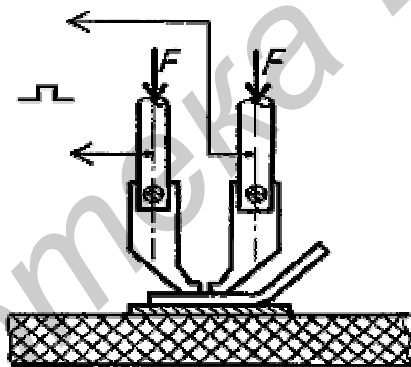


Рис. 2.4. Схема сварки термокарандашом

**Ультразвуковая сварка** металлов основывается на введении механических колебаний ультразвуковой (УЗ) частоты и давления в зону контакта, что вызывает пластическую деформацию приконтактной зоны, разрушение и удаление поверхностных пленок с созданием ювенильных поверхностей, интенсифицирует процесс образования активных центров и тем самым приводит к образованию сварного соединения без значительного нагрева деталей.

Для сварки применяют продольные колебания, продольно-поперечные для сварки малых толщин металла, поперечные (изгибные) (рис. 2.5). Поперечные колебания с помощью УЗ пистолета, состоящего из 2-х магнитострикционных

преобразователей 1 и волновода 2, вводятся в провод 3, который с силой  $F$  прижимается к детали 4, находящейся на акустической опоре 5. Режим сварки при заданной частоте определяется тремя параметрами: акустической мощностью, вводимой в сварочную зону  $P_{ак}$ ; усилием сжатия  $F$ ; временем сварки  $t$ . Акустическая мощность связана с электрической  $P$ , подводимой к преобразователю соотношением

$$P = \frac{P_{ак}}{\eta_m} + P_0, \quad (2.1)$$

где  $\eta_m$  – механический КПД преобразователя, равный 0,5–0,7;  $P_0$  – мощность электрических потерь, зависящая от тока подмагничивания.

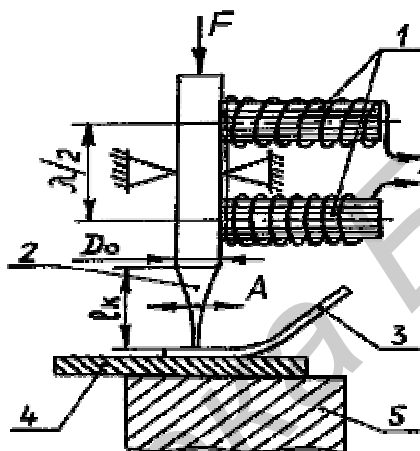


Рис. 2.5. Схема ультразвуковой сварки

Амплитуда УЗ колебаний, вводимых в зону сварки, для конического концентратора с законом изменения образующей

$$D_x = D_0 (1 - \alpha \cdot x), \quad (2.2)$$

зависит от коэффициента усиления волновода  $K_y$ :

$$K_y = \sqrt{1 + \left( \frac{2\pi \cdot l_k}{\lambda} \right)^2} \leq N, \quad (2.3)$$

где  $D_0$  – входной диаметр волновода,  $\alpha = \frac{D_0 - d}{D_0 \cdot l_k}$ ,  $l_k$  – длина.

Длина волновода выбирается кратной половине длины волны:

$$l_k = \frac{\lambda_n}{2} = \frac{C}{2f} \cdot n, \quad (2.4)$$

где  $n = 1, 2, 3$ .

При УЗ сварке элементов полупроводниковых приборов и интегральных

схем для снижения знакопеременных механических напряжений в свариваемых деталях амплитуду колебаний  $A$  снижают, однако для сохранения необходимого уровня мощности повышают частоту колебаний согласно выражению для энергии УЗ:

$$E = \frac{\rho \cdot V (A \cdot \omega)^2}{2}, \quad (2.5)$$

где  $\rho$  – плотность металла,  $V$  – объем зоны контакта.

Увеличение времени сварки повышает прочность сварного соединения за счет роста суммарной площади очагов схватывания, однако чрезмерная продолжительность сварки приводит к снижению механической прочности и даже разрушению соединения. УЗ сварка позволяет соединять самые разнообразные металлы, металлы и полупроводники без их значительного нагрева или деформации, а также образования хрупких интерметаллических фаз. С помощью ультразвука свариваются: алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы, никель, стали, золото, полупроводниковые материалы. Для УЗ сварки применяют сварочные пистолеты типа УЗСП2-0,2, предназначенные для сварки деталей толщиной до 0,2 мм и питаемые от генератора УЗГ-3-0,4.

После выполнения сварных соединений осуществляют их визуальный контроль, определение механической прочности и переходного электрического сопротивления, металлографические исследования, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами. Прочность сварных соединений определяется на срез и отрыв под углом  $90^\circ$ .

Брак сварки можно разделить на следующие группы: непровар, выплески и перевар. Непровар возникает при малом межэлектродном усилии, характеризуется малой осадкой и наличием глубокого подреза сварной точки. Выплески сопровождаются выбросом жидкого металла из зазора между свариваемыми деталями в виде мелких капель. При переваре возникает пережог деталей в результате возникновения дуги в разрыве контакта.

### **Порядок выполнения работы**

1. Подготовить электроды сварочной установки к работе, для чего зачистить их напильником с мелкой насечкой.
2. Включить установку контактной конденсаторной сварки И020.0002 последовательно тумблерами Сеть и Вольтметр. Установить ручку Напряжение в крайнее левое положение, емкость батареи конденсаторов – в положение 80 мкФ.

3. Разместить свариваемые детали между электродами. Включить тумблер Сварка и, придерживая детали, плавно нажать ногой на педаль сварочной машины. Сварка происходит при полном зажатии деталей электродами с фиксированным усилием.

4. Исследовать влияние напряжения заряда и емкости конденсаторов на прочность соединений в соответствии с вариантом задания (табл. 2.1). Усилие отрыва определять на разрывной машине РП-100. На каждый опыт сваривать не менее 3 образцов. При постоянном напряжении емкость изменять ступенчато: от 80 до 300 мкФ, при постоянной емкости изменять напряжение от 150 до 250 В. Построить графические зависимости:  $F = f(U)$ ,  $F = f(C)$ .

Таблица 2.1

Параметры свариваемых деталей и режимы сварки

Материал и толщина детали, мм	Напряжение сварки, В				
	0,1	0,2	0,25	0,30	0,35
Никель	150	175	190	200	210
Сталь	175	180	200	220	250
Молибден	150	170	180	200	250

5. Измерить переходное сопротивление соединений методом разности потенциалов и построить зависимость  $R = f(n)$ , где  $n$  – число сварных точек, выполненных на специальных образцах.

6. Исследовать процесс сварки проволочных выводов на установке НТ-1020 методом расщепленного электрода (термокарандашом) (табл. 2.2). Ширина сварной точки – не более 2 диаметров проволоки, прочность сварного соединения измерять адгезиометром.

Таблица 2.2

Варианты режимов сварки

Режимы	Варианты	
	I	II
Длительность импульса, с	0,32–0,50	0,50–0,80
Напряжение $U$ , В	100–130	100–130
Усилие $F$ , Н	50–100	50–100



7. Измерить геометрические размеры концентратора УЗ пистолета, определить его тип, рассчитать на ПЭВМ коэффициент усиления амплитуды колебаний.

8. Включить УЗ генератор УЗГ 3-04 в сеть, при этом начнет работать вентилятор. Включить тумблер НАКАЛ и прогреть генератор в течение 5 минут. Поставить переключатель рода работ в положение ПС.

9. Настроить сварочный пистолет УЗСП-2-0,2 на резонансную частоту, для чего нажать кнопку ПУСК и, вращая ручку ЧАСТОТА, получить на измерителе Ф-480 значение 41 кГц. Измерить амплитуду колебаний рабочего торца волновода виброметром и рассчитать энергию УЗ сварки.

10. Произвести сварку, для чего рабочий торец волновода установить на свариваемые детали, нажать на рукоятку приспособления с усилием 50–100 Н.

11. Исследовать влияние напряжения на выходе генератора (100–200 В) на прочность сварных соединений. Проанализировать полученные экспериментальные данные и определить оптимальные параметры сварки.

### **Содержание отчета**

1. Схемы исследуемых методов сварки.
2. Эскизы сварных соединений.
3. Таблицы и графики экспериментальных данных.
4. Расчеты оптимальных параметров сварки.
5. Анализ экспериментальных данных.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные физико-химические процессы при сварке.
2. Критерии свариваемости металлов и их определение.
3. Схемы и основные параметры конденсаторной и ультразвуковой сварки.
4. Зависимости формы импульсов тока от параметров сварочного контура.

### **Литература**

1. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники: В 2 т. / С. П. Кундас [ и др.] Т.2. / под ред. А. П. Достанко.– Минск : Бестпринт, 2003.– 224 с.

2. Ланин, В. Л. Контроль амплитуды вибраций в ультразвуковом технологическом оснащении / В. Л. Ланин, И. Н. Чернышевич, В. М. Бондарик // Приборы и системы управления. – 1998 – № 10. – С. 61–63.
3. Киселев, М. Г. Ультразвук в технологии машино- и приборостроения / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, Г. А. Есьман. – Минск : Тесей, 2003. – 320 с.

Библиотека БГУИР

## Лабораторная работа №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МОНТАЖА НАКРУТКОЙ И ОБЖИМКОЙ

#### Цель работы

Изучение механизмов образования соединений накруткой и обжимкой, исследование параметров соединений.

#### Теоретические сведения

Монтаж накруткой разработан в 1952 г. фирмой Bell Laboratories (США) и применяется в качестве межблочного монтажа ЭВМ, квазиэлектронных АТС, авиационной и космической аппаратуры.

**Накрутка** – это способ соединения неизолированного монтажного провода со штыревым выводом разъема под определенным усилием. Соединения накруткой применяются для межблочного монтажа рам, стоек, панелей и блоков электронной аппаратуры. Монтаж накруткой исключает нагрев, применение припоев, флюсов, повышает надежность соединений по сравнению с паяными при механических и климатических воздействиях, ускоряет процесс межблочного монтажа аппаратуры за счет его автоматизации.

Монтаж накруткой (рис. 3.1, а) предназначен для получения электрического соединения с помощью неизолированного одножильного провода 1, который накручивается с определенным усилием на штыревой вывод 2 с острыми кромками. При этом кромки штыря 3, частично деформируясь, врезаются в провод, разрушают на нем окисную пленку и образуют области газонепроницаемого соединения 4 (рис. 3.1, б). Витки провода, накрученные с усилием  $F$ , запираются на острых кромках штырей, за счет упругих напряжений образуя надежное соединение. Для получения прочного соединения с малым переходным сопротивлением необходимо, чтобы натяжение провода было не меньше 15–28 Н, при этом на острых кромках в контактных точках создается давление до 700 МПа. За счет высоких давлений на кромках штырей и соответственно пластической деформации, текучести, а также при прохождении тока через контакт развивается диффузионный процесс, который способствует повышению надежности соединений накруткой.

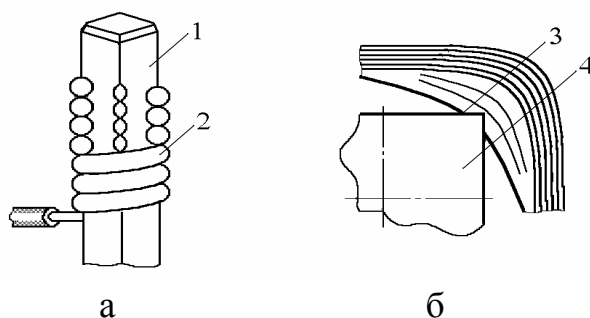


Рис. 3.1. Соединение накруткой (а) и врезание вывода в провод (б):  
1–вывод, 2–провод, 3–область соединения, 4–кромка штыря

Интенсивность отказов таких соединений в 10 раз меньше, чем паяных. Соединения накруткой должны иметь минимальное переходное сопротивление не более 3 мОм. Сумма площадей контактных точек должна быть больше поперечного сечения провода, чтобы избежать местного перегрева при прохождении тока, а газонепроницаемость между контактными областями исключает коррозию в области контактных точек. Эти требования обеспечиваются соответствующим выбором материала штырей и провода, конструкции соединения, технологических режимов.

Штыри, применяемые для соединения накруткой, должны быть достаточно прочными и упругими, чтобы выдержать усилие скручивания. Квадратные, имеющие преимущество при автоматизации монтажа накруткой, и прямоугольные выводы получили наибольшее распространение (рис. 3.2). U- и V-образные выводы обладают большей упругостью по сравнению с прямоугольными при одинаковых площадях поперечного сечения. Они применяются при рабочих температурах до  $180^{\circ}\text{C}$ , когда снижение напряжения в проводах компенсируется за счет упругости штырей и позволяет сохранить электрические и механические параметры соединения.

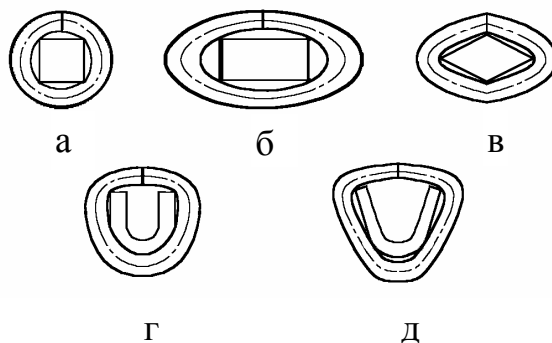


Рис. 3.2. Формы поперечного сечения выводов: квадратная (а), прямоугольная (б), ромбовидная (в), U-образная (г), V-образная (д)

Длину штырей следует рассчитывать исходя из того, чтобы на штыре помещалось 2–3 накрутки, а он оставался достаточно жестким по отношению к скручивающим нагрузкам от инструмента. Кроме того, необходимо, чтобы штыри располагались перпендикулярно к фиксирующей поверхности, были ровными, имели постоянное сечение по всей длине, а ребра располагались параллельно друг другу и имели острые кромки. Материал штырей при достаточной прочности и упругости должен обладать и достаточной пластичностью, которая является необходимым условием образования газонепроницаемого соединения. Для изготовления выводов применяют медные сплавы, плакированную сталь, никелево-серебряные сплавы. Лучшими материалами, имеющими высокий модуль упругости, низкое остаточное напряжение и коэффициент теплового расширения, близкий к коэффициенту теплового расширения медного провода, являются бериллиевая, фосфористая и кремнистая бронзы. Для защиты поверхности штырей от коррозии, а также для снижения величины переходного контактного сопротивления применяют следующие покрытия штырей: гальваническое золочение толщиной 3–6 мкм, серебрение 6–9 мкм с предварительным никелированием 1–3 мкм, покрытие сплавами олова толщиной не более 35–40 мкм.

В качестве провода для накрутки применяют медный одножильный провод, имеющий удельную прочность на растяжение 200 МПа и относительное удлинение не менее 20 %. Провод для накрутки применяют без покрытия, но он может покрываться оловом, сплавом олова и свинца, серебром, золотом при толщине покрытия до 20–30 мкм.

При монтаже накруткой применяют три вида соединений: обычное, модифицированное и бандажное (рис. 3.3). Обычное соединение (рис. 3, а) получают накруткой одножильного провода от 4 до 8 витков. Количество последних определяют, исходя из необходимого числа контактируемых точек, что, в свою очередь, зависит от формы штыря и диаметра провода. При расчете числа витков следует учитывать, что выводы квадратной, прямоугольной, ромбовидной формы имеют четыре контактные точки на один виток, V-образной и треугольной – три, а U-образной – 2,5. Кроме того, две первые точки контакта и две последние за счет упругости провода не дают надежного соединения, их необходимо вычитать из общей суммы.

Модифицированное соединение отличается тем, что имеет два дополнительных витка проводом с изоляцией (рис. 3.3, б). Наличие двух витков изолированного провода уменьшает концентрацию напряжений в

точке касания провода к штырю, исключает его поломку в этом месте и увеличивает надежность соединения при вибрациях.

Бандажное соединение (рис. 3.3, в) используется при монтаже многожильного провода или вывода электронного компонента на штыревой вывод и заключается в накрутке нескольких витков бандажного провода на параллельно расположенные штырь и подсоединяемый элемент.

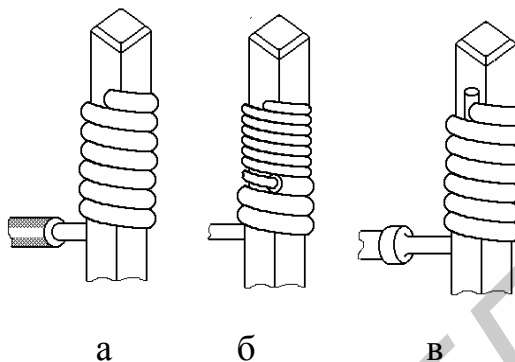


Рис. 3.3. Виды соединений накруткой

Важное место в технологическом процессе выполнения монтажа накруткой занимает выбор необходимого оборудования и инструмента. Для подготовки проводов к монтажу – снятия изоляции с конца провода на необходимую длину – применяют ручной и механизированный инструменты, автоматизированное оборудование, работающее на принципе стягивания изоляции с провода после ее подрезки или пережигания.

Для выполнения соединений накруткой получили широкое применение монтажные пистолеты, которые имеют электрический, пневматический и ручной приводы. Основной частью инструмента для накрутки (рис. 3.4) является валик, имеющий два отверстия: центральное – для размещения штыря и боковое – для отрезка монтажного провода. Усилие натяжения провода при накрутке на штырь определяется конфигурацией выточки на торце валика и радиусом  $R$ . При работе с ручным монтажным пистолетом, у которого вращение валика осуществляется через редуктор от электрического привода, выполняется до 40–50 соединений в час. Использование монтажного пистолета совместно с полуавтоматической установкой для монтажа накруткой позволяет поднять производительность в 5–6 раз и получать до 200–300 соединений в час.

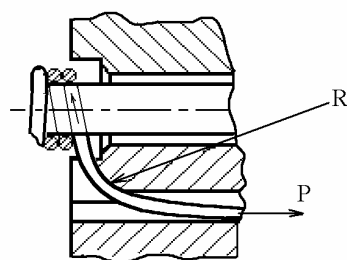


Рис. 3.4. Рабочая часть пистолета для накрутки

Полуавтоматическая установка монтажа накруткой состоит из монтажного стола, предназначенного для перемещения по координатам X и Y в заданную точку, и блока управления, который по программе с ЭВМ задает положение инструментодержателя, высвечивает ячейку с проводом нужной длины. После накрутки соединения блокируется повторное включение пистолета, проверяется правильность выполнения соединения и дается команда на выполнение следующего соединения. Монтажный стол имеет два двигателя с редукторами, которые связаны с ходовыми винтами для перемещения кареток соответственно по осям X (инструментодержатель) и Y (панель для монтажа). Для задания положения кареток используются световые линейки с шагом световых рисок, равным 2,5 мм, и блоки фотодиодов, используемые как нониусные шкалы и позволяющие устанавливать инструментодержатель в заданную точку монтажной панели с точностью до 0,1 мм. При работе с установкой монтажник должен заправить провод в пистолет, вставить его в инструментодержатель, произвести накрутку и нажатием педали перевести последний в следующую точку монтажной панели.

Миниатюризация изделий электроники и увеличение плотности монтажа потребовали дальнейшего уменьшения размеров штырей и диаметра провода, увеличения плотности расположения штырей и соответственно количества соединений, уменьшения числа ошибок до 0,0001 %. Эти задачи решаются с помощью полностью автоматизированных установок типа Эверест, управляемых ЭВМ и имеющих производительность 350–400 соедин./ч. Цикл накрутки осуществляется без участия оператора, который только устанавливает очередную панель для монтажа, заправляет провод в монтажную головку и производит пуск автомата, контролируя его работу. После монтажа панель подвергают контролю на полуавтоматическом стенде, позволяющем осуществлять прозвонку 1000 соедин./ч. Для устранения ошибок монтажа и снятия провода со штыря применяют раскрутку, представляющую собой цилиндр с винтовой нарезкой на внешней поверхности.

Соединения накруткой с целью проверки качества подвергаются электрическим и механическим испытаниям. К первым относятся испытания на переходное сопротивление и токовые перегрузки. Их проводят на постоянном токе, измеряя величину падения напряжения на соединении накруткой при пропускании тока в 1 А (рис. 3.5). Величина переходного сопротивления соединения накруткой не должна превышать 2–3 мОм:

$$R_{\text{пер}} = \frac{U}{I} - R_x - R_y. \quad (3.1)$$

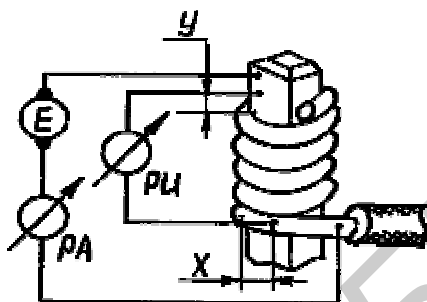


Рис. 3.5. Схема измерения переходного сопротивления

Испытания на токовые перегрузки проводят с целью определения изменения переходного сопротивления после пропускания больших токов.

К механическим относятся испытания на вибрацию и на усилие стягивания. Соединение накруткой должно выдерживать не менее 12,5 ч. при воздействии вибрации, модифицированное соединение – 24 ч., в то время как паяное – 8 ч. Усилие стягивания – это усилие, требуемое для снятия полного соединения вдоль оси вывода при постоянном увеличении со скоростью 10 Н в минуту. Оно зависит от сечения провода, усилия натяжения провода при накрутке и пропорционально числу витков в накрутке.

Рабочее место монтажа накруткой кассет АТС получает информацию от ПЭВМ ЕС-1841 и обеспечивает отображение информации монтажной операции на пульте в конструктивных адресах в соответствии с таблицей соединений на изделие. Монтаж выполняется перемычками, находящимися в ячейках кассетницы и рассортированными по длине и типу провода. Рабочее место конструктивно выполнено в виде стола, на котором находятся блоки управления и электропитания. На столе установлены пульт, светильники и держатель для пистолета. Конструкцией стола предусмотрены регулировка наклона и высоты расположения, а также перемещение влево или вправо объекта монтажа.



**Обжатие** – это способ неразъемного соединения, которое осуществляется посредством сильной пластической деформации соединяемых поверхностей и разъединяется только с разрушением. Провод 1 помещают в хвостовую часть соединительного элемента 2, имеющего форму втулки, и обжимают (рис. 3.6, а). Благодаря высокому удельному давлению соединяемые металлы подвергаются значительной пластической деформации, и вследствие холодной текучести контактирующих поверхностей между ними возникает интенсивный молекулярный контакт. После пластической деформации под действием остаточной упругой деформации соединяемые поверхности сжимаются с определенной силой. Такое соединение обладает высокой проводимостью, газонепроницаемостью, теплостойкостью и вибростойкостью.

Переходное сопротивление и прочность на растяжение соединения зависят от величины деформации, которая определяется размерами соединяемых элементов. Механическая прочность соединения характеризуется силой  $F_B$ , необходимой для вытягивания провода при разрушении соединения, которая зависит от силы сжатия  $F$  (рис. 3.6, б). С увеличением силы сжатия, а также по мере снижения отношения  $h/D_0$  (где  $h$  – размер деформации;  $D_0$  – начальный диаметр элемента) сила вытягивания растет до определенного значения.

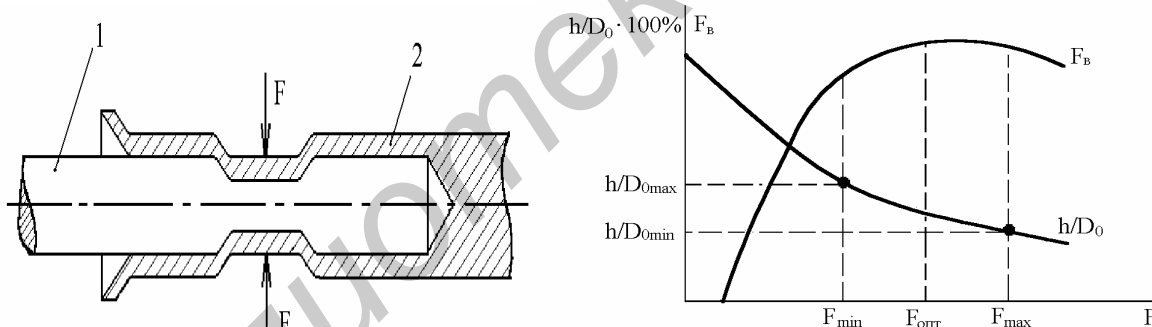


Рис. 3.6. Соединение обжатием (а) и диаграмма деформаций (б)

Большая сила сжатия может вызвать трещины, повреждения и явиться причиной сильного сокращения поперечного сечения. Малая сила сжатия приводит к соединению с зазорами в поперечном сечении, что неблагоприятно сказывается на их прочности и электропроводности. Таким образом, целесообразно выбирать силу сжатия и размеры деформации между величинами  $F_{\min}$  и  $F_{\max}$ ,  $h/D_{0\max}$  и  $h/D_{0\min}$ .

Относительная проводимость соединения  $G_{\text{отн}}$  может быть вычислена по проводимости соединения  $G_r$  и провода  $G_n$ :  $G_{\text{отн}} = (G_r G_n) \cdot 100 \%$ . Эта

величина имеет тенденцию к возрастанию с ростом силы сжатия. Если провод занял свое место внутри обжимающего элемента и сила сжатия достигла  $F_{\max}$ , то с ее дальнейшим увеличением относительная проводимость соединения не растет.

Обжатие применяется в электротехнической аппаратуре для соединения кабельных наконечников, а также в автомобильной электронике и телефонии. Площадь эффективной контактной поверхности должна составлять 200–400 % площади сечения соединяемых проводов. В качестве материалов втулок используются медь, бронза с гальваническим защитным покрытием. Обжимку выполняют с помощью пистолетов с производительностью до 500 соединений в час или полуавтоматов (до 2000 соединений в час). Прочность соединений для провода диаметром 0,5 мм равна приблизительно 80 Н.

### Порядок выполнения работы

1. Получить монтажные провода и зачистить на требуемую длину с помощью съемника изоляции.

2. Выполнить не менее 3 накруток монтажным проводом на штыревых разъемах типа ГППМ 17-48, установленных на лабораторном макете, в количестве не менее 6 витков. Проверить усилие стягивания с помощью приспособления ЛС-3001. Если усилие меньше установленного, то накрутка сдвигается с вывода разъема, что отмечается загоранием красной лампочки.

3. Измерить переходное сопротивление соединений накруткой в соответствии со схемой (рис. 3.5). Величину тока регулировать потенциометром «I» на лабораторном макете. Исследовать зависимости переходного сопротивления и усилия стягивания от числа витков в соединении накруткой (табл. 3.1). Усилие стягивания измерять с помощью приспособления ЛС-3002.

Таблица 3.1

Параметры соединений накруткой

№ опыта	Количество витков, n	Переходное сопротивление R, мОм	Усилие стягивания, Н
1...7	4...8		

4. Зарисовать эскиз выполненного соединения накруткой и произвести расчет на ПЭВМ размещения 3 накруток на одном выводе разъема.

5. Подготовить рабочее место монтажа накруткой к работе:

5.1. Подключить пистолет накрутки АП-3039 к розетке «ПИСТОЛЕТ» на блоке электропитания.

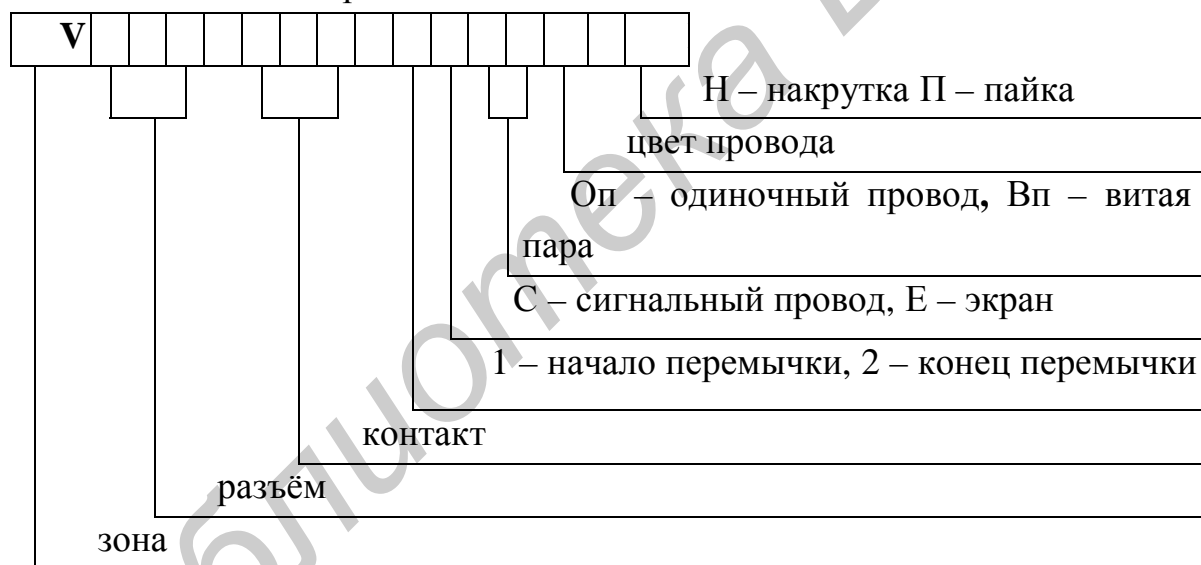
5.2. Включить пакетный выключатель, расположенный в нижней части панели управления, при этом на блоке электропитания загораются светодиоды «СЕТЬ» и «+27 В».

5.3. Включить тумблер «БЛОКИРОВКА УПД» на блоке электропитания. Нажать кнопку «ВКЛ», при этом загорится светодиод «ВКЛ». Отключить тумблер «БЛОКИРОВКА УПД».

5.4. Нажать кнопку «СБРОС» на блоке электропитания.

6. Выполнить монтаж накруткой на рабочем месте.

6.1. После задания ПЭВМ необходимого массива монтажа нажать клавишу «ПОВТОР ОПЕРАЦИИ» на пульте, где высветится информация для монтажной операции:



6.2. Выбрать провод, заправить его в пистолет и выполнить монтаж в соответствии с информацией на пульте.

6.3. После выполнения соединения на пульте появится информация о следующей монтажной операции. При выполнении некачественной накрутки нажать клавиши «ПОВТОР ОПЕРАЦИИ» и повторить накрутку по прежнему адресу.

6.4. После выполнения последнего соединения на пульте высвечиваются нулевой разъём и нулевой контакт. После этого включить

тумблер «БЛОКИРОВКА УПД» на блоке электропитания. Нажать кнопку «ОТКЛ» и отключить тумблер питания.

7. Измерить переходное сопротивление соединений методом разности потенциалов.

8. С помощью инструмента выполнить 5–7 соединений обжимкой и измерить их переходное электрическое сопротивление.

### **Содержание отчета**

1. Эскиз и расчет размещения 3 накруток на выводе разъема.
2. Схема измерения и расчет переходного сопротивления.
3. Результаты экспериментов (табл. 3.1, 3.2).
4. Графики экспериментальных зависимостей.
5. Оборудование и его технические характеристики.
6. Эскиз трассировки соединений на монтажной плате.

### **Контрольные вопросы**

1. Физика процесса образования соединения накруткой.
2. Материалы выводов, применяемые при монтаже накруткой.
3. Основные типы соединений накруткой.
4. Устройство монтажного пистолета.
5. Автоматизация монтажа накруткой.
6. Основные испытания соединений накруткой.

### **Литература**

1. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: учебник / А. П. Достанко [и др.]. – Минск : Выш. шк., 2002. – 415 с.
2. Фролих, Я. Непаяные соединения в электронике /Я. Фролих. – М. : Энергия, 1987.– 192 с.
3. Медведев, А. М. Непаяные методы неразъемных соединений: накрутка / А. М. Медведев. // Технологии в электронной промышленности, 2006. – № 3. – С. 52–55.

## Лабораторная работа №4

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МИКРОМОДУЛЕЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ МОНТАЖОМ

### Цель работы

Изучение технологического процесса сборки микромодулей с поверхностным монтажом, применяемого оборудования и исследование точности установки и качества пайки элементов на платах.

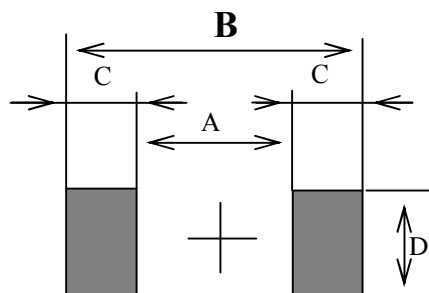
### Теоретические сведения

Современный этап развития электронной аппаратуры характеризуется широким применением поверхностно монтируемых элементов: безвыводных «чиповых» резисторов и конденсаторов, миниатюрных корпусов БИС, пластмассовых и керамических кристаллоносителей и др., что позволяет отказаться от плат с металлизированными отверстиями, упростить установку элементов, повысить надежность электронных блоков. Технология поверхностного монтажа (SMT) имеет следующие конструктивные и технологические преимущества: повышение плотности компоновки элементов в 4–6 раз; снижение массогабаритных показателей в 3–5 раз; повышение быстродействия и помехозащищенности за счет отсутствия выводов компонентов; повышение виброустойчивости и вибропрочности блоков в 2 раза; повышение надежности блоков за счет уменьшения количества металлизированных отверстий, являющихся потенциальным источником дефектов; автоматизация сборки, монтажа элементов и повышение производительности труда в десятки раз; исключение операций подготовки выводов и соответствующего оборудования; сокращение производственных площадей на 50 %; уменьшение затрат на материалы.

К недостаткам следует отнести затрудненность отвода тепла, сложность контроля и ремонта.

Наиболее распространенным типом корпусов для поверхностного монтажа пассивных компонентов являются <<chip>>чипы, которые различаются габаритными размерами, рабочим напряжением (или рассеиваемой мощностью) и материалом диэлектрика. Для указания геометрических размеров чипов используется краткая форма обозначения: например, 1206 означает, что

компонент имеет длину 0,12 дюйма (3,048 мм) и ширину 0,06 дюйма (1,524 мм). Для позиционирования поверхностно монтируемых элементов (SMD) на плату используют знакоместа (рис. 4.1), размеры которых для резисторов и многослойных керамических конденсаторов в случае пайки методами расплавления дозированного припоя и рекомендуемые фирмой Philips приведены в табл. 4.1. Существует методика расчета размеров знакомест,



основанная на необходимом для качественной пайки объеме припойной пасты.

Рис. 4.1. Знакоместо чиповых резисторов и конденсаторов

Технология сборки микромодулей с применением припойных паст и групповой пайки ИК нагревом позволяет производить монтаж элементов, монтируемых как в отверстия, так и SMD, а также смешанный монтаж (рис. 4.2). Рекомендуется сначала устанавливать многвыводные элементы, затем – элементы с небольшим количеством выводов.

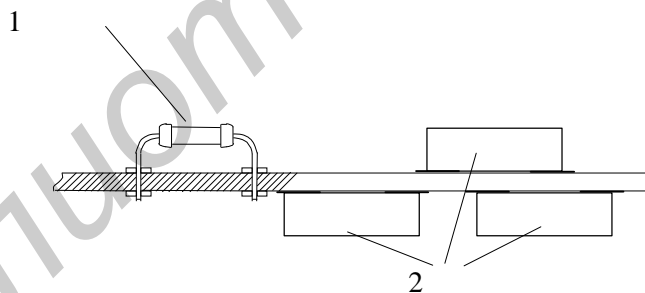


Рис. 4.2. Варианты установки на плату: 1 – элементов, монтируемых в отверстия; 2 – SMD

Процесс монтажа состоит из следующих основных операций: нанесения припойной пасты на контактные площадки через трафарет, установки элементов на плату, пайки расплавлением дозированного припоя.

**Припойная паста** на контактные площадки печатной платы наносится через специальный трафарет, который представляет собой металлическую фольгу (латунь, нержавеющая сталь) толщиной 0,2 – 0,35 мм с отверстиями

(прямоугольными или круглыми), соответствующими контактными площадкам печатной платы.

Трафарет закрепляется на устройстве трафаретной печати, под ним на базовых штырях устанавливается печатная плата, затем отверстия трафарета совмещаются с контактными площадками платы. Припойная паста, нанесенная на трафарет, с помощью ракеля (металлического, резинового или полиуретанового) продавливается через окна трафарета на контактные площадки платы.

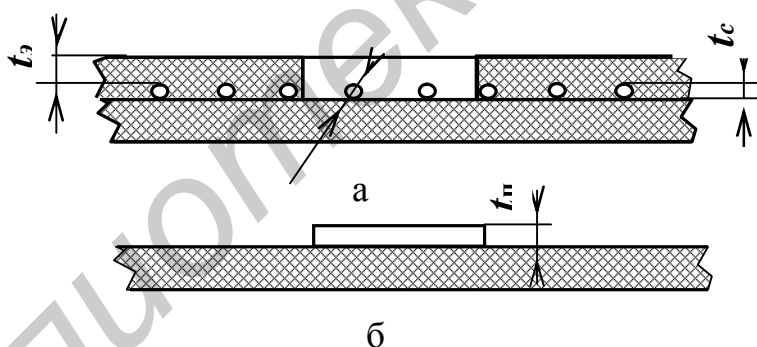
Таблица 4.1

Размеры знакомест резисторов и конденсаторов

Тип корпуса	Размеры, мм	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм
R/C1206	3,2×1,66	1,8	4,6	1,4	1,7
C1210	3,2×2,5	1,8	4,6	1,4	2,6
C1808	4,5×2,0	2,8	6,2	1,7	2,1
C1812	4,5×3,2	2,8	6,2	1,7	3,3
C2220	5,7×5,0	4,0	7,4	1,7	5,1

Толщину слоя припойной пасты (рис. 4.3) можно рассчитать так:

$$t_{п.с} = t_c k + t_э, \quad (4.1)$$



где  $t_{п.с}$  – толщина нанесенного слоя пасты (во влажном состоянии);  $t_c$  – толщина сетки;  $t_э$  – толщина эмульсии;  $k$  – коэффициент прозрачности сетки (табл. 4.2).

Рис. 4.3. Схема к расчету толщины слоя припойной пасты, наносимой через сетчатый трафарет: до нанесения (а), после нанесения (б)

Таблица 4.2

Параметры сеток для трафаретов

Материал сетки	Число ячеек на 25 мм	Диаметр провода, мкм	Размер окна, мкм	Коэффициент прозрачности $k$	Толщина слоя, мкм

Полиэстер	45	50	210	0,68	74
Нержавеющая сталь	80	45	265	0,71	110

Точность позиционирования компонентов при поверхностном монтаже зависит от следующих основных факторов:

1. Точностных характеристик автоматов-укладчиков, которые имеют допуски на установку компонента в заданную позицию (0,0508–0,127 мм); на центровку корпуса – 0,0254 мм; на воспроизводимость укладки – 0,0254 мм; на позиционирование платы – 0,0254 мм.

2. Допуска на изготовление печатной платы, включая изготовление фотошаблонов; погрешности механической обработки; изменение механических свойств и размеров платы за счет внешних воздействий (тепловое расширение, коробление во время пайки).

3. Допуска на смещение выводов компонентов относительно корпуса (0,0254–0,1016 мм).

Сложение этих допусков может привести к суммарной погрешности позиционирования в пределах 0,254–0,3048 мм, что приемлемо для монтажа простых SMD. Для установки более сложных корпусов (SO, PLCC, TAB и др.) такой точности оказывается недостаточно при шаге выводов 1,25 или 0,635 мм. Компоненты с большим количеством выводов очень чувствительны к угловым смещениям. Например, поворот на один градус корпуса PLCC с 84 выводами приводит к смещению крайнего вывода на величину 0,254 мм.

Требуемую точность позиционирования можно рассчитать исходя из геометрических размеров контактных площадок, выводов компонентов и возможных их отклонений. В отличие от методики расчёта размеров контактных площадок в рассматриваемой схеме (рис. 4.4) учитывается позиционирование припойной пасты с соответствующими индексами. На схеме площадка припойной пасты смещена влево, а вывод – вправо. При расположении их по центру контактной площадки эти погрешности будут равны 0, т.е.  $f = h = 0$ .

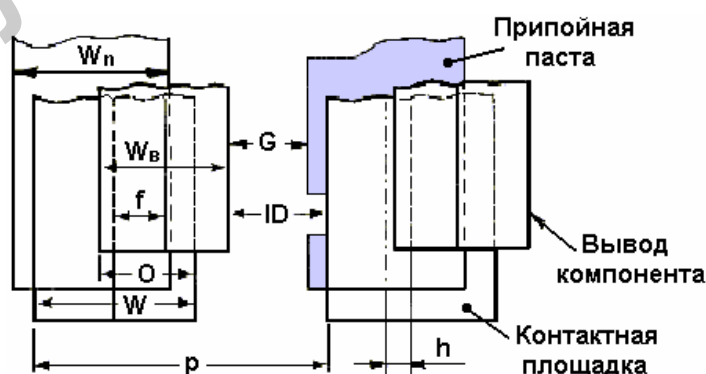


Рис. 4.4. Схема к расчёту точности позиционирования компонентов  
 $P$  – шаг выводов;  $W$  – ширина контактной площадки;  $W_B$  – ширина вывода;  
 $ID$  – гарантированный зазор исходя из требований изоляционной прочности;



$O$  – ширина перекрытия выводом контактной площадки;  $f$  – погрешность позиционирования (в направлении  $X$ );  $W_n$  – ширина площадки, занимаемая пастой;

$G$  – расстояние от вывода до следующей площадки пасты;

$h$  – погрешность позиционирования припойной пасты

Для оценки точности позиционирования используют три критерия:

1) минимальное расстояние по прочности изоляции:

$$f_x \leq P - \frac{1}{2} W_B - \frac{1}{2} W - ID; \quad (4.2)$$

2) минимальная ширина зоны перекрытия :

$$f_x \leq \frac{1}{2} W_B + \frac{1}{2} W - O; \quad (4.3)$$

3) точность нанесения припойной пасты :

$$f_x \leq P - \frac{1}{2} W_{\Pi} - \frac{1}{2} W_B - h - G_s. \quad (4.4)$$

Уравнение (4.4) имеет смысл, когда припойная паста выступает за пределы контактной площадки, т.е.  $h > \frac{1}{2}(W - W_{\Pi})$ ,  $W > W_{\Pi}$ ; смещения вывода компонента и припойной пасты происходят в разных направлениях.

Каждый из приведенных выше критериев вносит различный вклад в обеспечение требуемой точности позиционирования. На практике величины  $W, W_B, W_{\Pi}$  в значительной степени зависят от применяемых компонентов и печатных плат, поэтому требуемая суммарная точность позиционирования будет различной для каждого типа компонентов. На практике делают упрощения:

$$W = W_B = W_{\Pi} = 0,5P, O \geq 0,5W_B, h \leq 0,05 \text{ мм}, G_s \geq 0,1 \text{ мм}, ID \geq 0,1 \text{ мм}.$$

Исходя из упрощений, критерии можно записать в следующем виде:

$$f_x \leq 0,5P - 0,1, f_x \leq 0,25P, f_x \leq 0,5P - 0,15.$$

В табл. 4.3 приведены составляющие точности и суммарной точности позиционирования компонентов в зависимости от шага выводов.

Таблица 4.3

Составляющие точности позиционирования, мкм

Шаг выводов	650	500	400	300
Машинная точность	120	90	60	25
Точность компонентов	70	50	40	25
Точность платы	50	40	30	25
Точность пайки	70	60	50	25
Суммарная точность $f_1$	162	125	100	50

В конструкциях автоматов-укладчиков предусмотрены различные системы центрирования корпусов, позволяющие уменьшить общие погрешности

позиционирования. Системы можно разделить на три группы: внутренние (а) и внешние (б) механические системы, системы технического зрения (в) (рис. 4.5). Механические системы основаны на центрировании компонентов после их захвата из питателя с помощью четырех упругих губок, сдвигающих компонент относительно вакуумного захвата для придания ему точной позиции. Они могут располагаться на самой монтажной головке (внутренние) и в технологической линии монтажа (внешние). В первом случае центрирующие устройства работают во время переноса компонента и раскрываются непосредственно при его позиционировании.

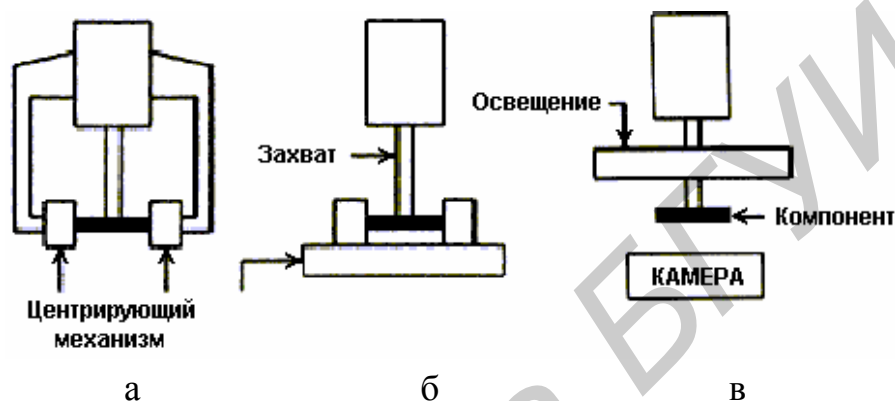


Рис. 4.5. Способы центрирования компонентов

Недостатком первого метода является усложнение конструкции монтажной головки. Во втором случае используются дополнительные центрирующие приспособления, устанавливающиеся в технологической линии движения монтажной головки. Компонент после первоначального захвата из питателя переносится монтажной головкой в центрирующее устройство для выравнивания (при этом вакуумный захват отпускает компонент), затем он снова захватывается и переносится на заданную позицию на печатной плате. Рассмотренные методы применяются чаще всего только для простых компонентов, имеющих относительно большие допуски на установку, так как имеется вероятность повреждения выводов в многовыводных корпусах с малым шагом.

Поэтому наиболее радикальным путем учета всех указанных выше погрешностей является применение в составе механизмов позиционирования систем технического зрения, управляемых от ЭВМ. Это особенно актуально при сборке сложных корпусов. В таких системах обычно используются две видеокамеры: первая камера, направленная вниз, предназначена для сравнительной идентификации, вторая камера, направленная вверх, предназначена для идентификации компонента. Если компонент имеет

большую погрешность захвата, то он по сигналу рассогласования от видеокамеры сдвигается механическим устройством и повторно захватывается вакуумным пинцетом.

Для ориентации оптических систем на печатных платах в процессе изготовления рисунка наружного слоя наносятся реперные знаки, которые имеют форму круга, квадрата, треугольника и других фигур. Эти знаки (один или два) размещаются около каждого компонента. Видеокамера считывает положение знаков и вносит коррективы в координаты позиционирования компонента.

В лабораторной работе для установки элементов на плату используется вакуумный пинцет, который с помощью шланга подключается к магистрали. В магистрали компрессор создает разрежение 10 Па, за счет которого элементы удерживаются на игле пинцета.

**Процесс пайки** является наиболее ответственным этапом технологии поверхностного монтажа, от которого зависят надежность и технические характеристики поверхностно монтируемых (ПМ) элементов. В технологии ПМ широко применяется метод групповой пайки с помощью инфракрасного нагрева. В настоящее время этот метод нашел широкое применение ввиду преимуществ, связанных с возможностями более гибкого управления режимами нагрева (наличие нескольких температурных зон, возможность получения любого температурного профиля в зоне пайки и др.).

Пайка оплавлением дозированного припоя является сложным физико-химическим процессом, протекание которого определяется действием чаще всего всех видов теплообмена (конвективный, кондуктивный, радиационный), процессами испарения, а также свойствами применяемых материалов. Этот процесс в общем случае можно разделить на следующие фазы: испарение растворителя из припойной пасты; активация и воздействие флюса на зону пайки; предварительный нагрев компонентов и платы; плавление припоя и смачивание им соединяемых частей; контролируемое охлаждение модуля.

Практическое применение новых методов пайки требует понимания физико-химических процессов, протекающих на каждой из указанных выше фаз, а также проведения во многих случаях экспериментальных исследований для выбора оптимального метода и режимов пайки. Если в традиционном монтаже в отверстиях качество паяного соединения обеспечивается также и механическим креплением выводов компонентов, то при SMT под высоким качеством пайки следует понимать прежде всего получение «упругих» мест

пайки (рис. 4.6), в которых высота гантели припоя на выводах компонентов не должна превышать двух третей высоты корпуса. Избыток припоя будет способствовать смещению компонента во время пайки из-за возникающих моментов.



Рис. 4.6. Виды паяных соединений SMD: а – надежное, б – ненадежное

Значительное влияние на качество пайки оказывает температурно-временной профиль процесса. Основные применяемые методы оплавления припоя в парогазовой фазе, ИК нагрев и обдув нагретым воздухом обеспечивают различные температурно-временные диаграммы нагрева. Поэтому температурно-временной профиль процесса пайки (рис. 4.7) должен быть обоснованно определен (исходя из конструктивных особенностей SMD, применяемых материалов и др.) до выбора метода и оборудования для пайки.

Процесс оплавления припоя можно разделить на три фазы: предварительный нагрев, оплавление и охлаждение. Предварительный нагрев создает благоприятные предпосылки для качественного оплавления припоя, так как осуществляются равномерный нагрев до требуемой температуры платы и компонентов, испарение растворителя из припойной пасты, удаление окисных пленок за счет действия флюса и расплавление частиц припойной пасты. Оплавление припоя протекает при температуре, превышающей температуру плавления припоя, что обеспечивает снижение сил поверхностного натяжения, увеличивает смачиваемость соединяемых поверхностей. Время выдержки изделия при этой температуре оказывает существенное влияние на качество пайки.

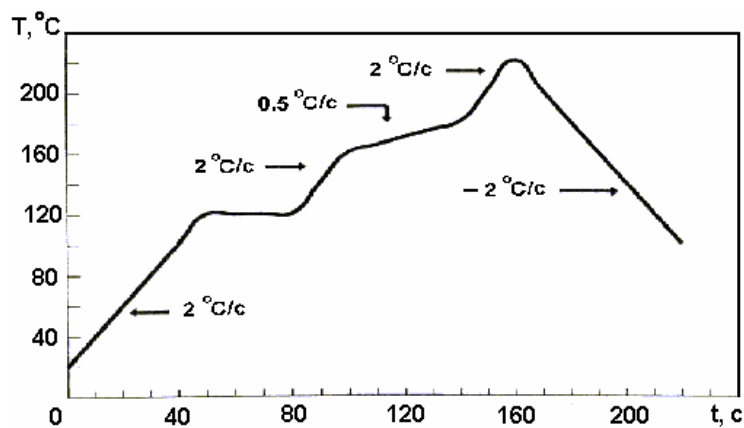


Рис. 4.7. Типовой температурно-временной профиль процесса ИК пайки

Длительность и температурный профиль фазы охлаждения также оказывают влияние на свойства паяного соединения, так как формируются мелкозернистая структура сплава и уровень остаточных напряжений. Рекомендуемый режим охлаждения 1–2 °C/c, хотя можно применять скорости и до 5 °C/c.

Температурно-временной профиль процесса пайки оказывает также влияние на действие флюса, поэтому следует учитывать температуру активации флюса и время, необходимое для активации. Времени активации должно быть достаточно для растворения оксидных пленок с контактных площадок, выводов компонентов и припойной пасты. Эти процессы должны завершиться до начала полного расплавления припоя. Установлено, что для большинства применяемых флюсов температура активации составляет 110–120 °C, время активированного состояния – от 30 до 90 с. При основной фазе плавления температура нагрева припоя должна на 25–40 °C в течение 20–60 с превышать температуру плавления, что обеспечивает качественное смачивание поверхностей деталей.

При выборе температурно-временного профиля необходимо учитывать также допустимые температуры нагрева компонентов, особенно активных. Большинство таких компонентов могут подвергаться без разрушений воздействию температур 210–220 °C в течение 20–60 с. Критичны к высокоскоростным тепловым воздействиям конденсаторы, в которых тепловой удар может вызвать появление трещин и отслоение металлизации. Рекомендуемая скорость изменения температуры при пайке конденсаторов составляет не более 2 °C/c. В процессе контроля могут быть выявлены следующие дефекты поверхностного монтажа (рис. 4.8):

1. **Спаи** выводов компонентов с шагом между выводами 0,5 мм, которые возникают вследствие неправильно спроектированного трафарета (с отступлением от требований международного стандарта IPC-SM-782 A), когда размеры апертуры трафарета превышают размеры контактных площадок.

2. **Непропай** выводов вследствие неправильно подобранного температурного профиля и «теневого эффекта», характерного для метода ИК пайки.

3. **Дефект «надгробный камень»** возникает из-за неправильного профиля ИК пайки и смещения чип-компонента.

4. **Смещение выводов** элементов относительно контактных площадок вследствие неточности позиционирования.

5. **Недостаточная высота паяного соединения (галтели)** согласно критериям оценки качества международного стандарта IPC-A-610 вследствие сбоя в настройке полуавтомата для нанесения пасты.

6. **Шарики припоя** вдоль корпусов чипов, которые нарушают требования к эстетическому виду выпускаемой продукции.



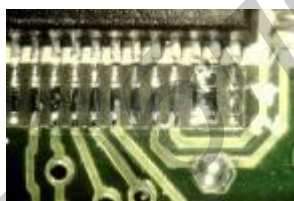
Шарики припоя



Непропай выводов ИМС



Смещение выводов



Спаи выводов



Недостаточная высота галтели



Дефект «надгробный камень»

Рис. 4.8. Примеры дефектов поверхностного монтажа

Установка ИК пайки позволяет осуществлять пайку как с одной стороны, так и одновременно с двух сторон печатной платы. В качестве источника ИК

излучения используют галогенные лампы мощностью 100–500 Вт для верхнего нагревателя и 1000–2000 Вт для нижнего. Для ламп мощностью 1000 Вт при питающем напряжении 220 В максимальная спектральная интенсивность излучения  $I_{\lambda \max}$  достигает 52 Вт/ср. мкм на длине волны 1,1 мкм, а для КГМ 36-400  $I_{\lambda \max} = 18$  Вт/ср. мкм. ИК рефлектор, укрепленный на конце поворотной штанги, ориентируют на центр рабочей зоны, затем плату, фиксированную в специальной рамке, размещают в центре рабочей зоны.

Нижний ИК нагреватель, размещенный под платой в основании устройства, предназначен для предварительного нагрева до 100 °С за 20–60 с. После этого включают верхний ИК нагреватель и температура в зоне пайки увеличивается с заданной скоростью до установленного значения в пределах 190–220 °С в зависимости от вида платы, после чего происходит полное оплавление припойной пасты. ИК излучение с длиной волны 2–8 мкм оптимально в плане соотношения отражаемой и поглощаемой тепловой энергии темными и светлыми поверхностями объекта. Значения температуры на поверхности платы измеряют при помощи термопары градуировки ХК, закрепленной непосредственно на ее поверхности.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться со сборочным чертежом электронного микромодуля, приведенным в приложении, и определить места установки элементов. Получить платы и SMD для пайки.
2. Очистить поверхность платы с помощью растворителя и тампона.
3. Совместить малый реперный знак трафарета с углом платы, имеющим знак Г. Нанести паяльную пасту ракелем через трафарет на посадочные места под чип элементы. При загустении пасты добавить в нее разбавитель.
4. Подготовить вакуумный пинцет к работе, для чего: включить в сеть компрессор УК25-1,6М; тумблер I компрессора перевести в верхнее положение; создать разрежение в системе 0,8 кгс/см<sup>2</sup>; открыть клапан вакуумного пинцета и проверить эффективность удержания элемента на рабочем торце.
5. Установить SMD на печатную плату: закрепить плату на столике ручной установки элементов; установить элементы на плату вакуумным пинцетом согласно сборочному чертежу и варианту задания (табл. 4.4).

Варианты заданий

Вариант	Список элементов
1	C6, C5, C7, C8
2	R13, R10, R12, R18
3	R1, R2, R3, R4
4	R5, R6, R7, R9

6. Пять элементы оплавлием на установке ИК пайки согласно заданному температурному профилю (табл. 4.5), для чего установить органы управления на передней панели установки (рис. 4.10) соответствующим образом:

клавиша К1 (поз. 9) – включение нижнего ИК нагревателя;

клавиша К2 (поз. 8) – включение верхнего ИК нагревателя;

регуляторы Р1 (поз. 6), Р2 (поз. 7) управляют интенсивностью нагрева соответственно нижней и верхней лампы.

Таблица 4.5

Режимы работы нагревателей при ИК пайке

Время работы	Состояние органов управления
0 с – 40 с	К1 – вкл., К2 – вкл., Р1 – мин, Р2 – 9 В
40 с – 1 мин 20 с	К1 – вкл., К2 – выкл., Р1 – мин
1 мин 20 с – 1 мин 35 с	К1 – вкл., К2 – вкл., Р1 – мин, Р2 – 9 В
1 мин 35 с – 1 мин 40 с	К1 – вкл., К2 – выкл., Р1 – мин
1 мин 40 с – 2 мин 20 с	К1 – вкл., К2 – вкл., Р1 – мин, Р2 – 5-7 В
2 мин 20 с – 2 мин 40 с	К1 – вкл., К2 – вкл., Р1 – мин, Р2 – 9 В

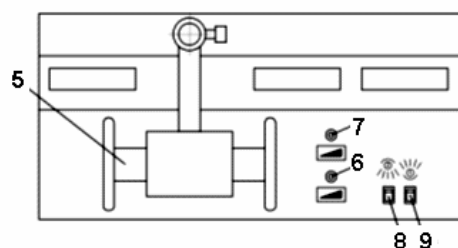
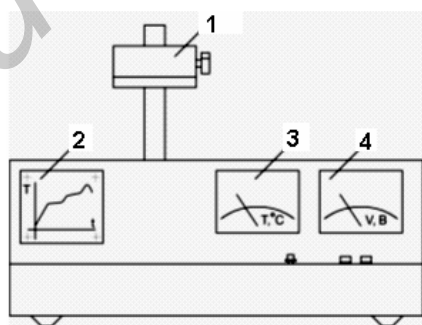




Рис. 4.10. Органы управления и индикации на передней панели: 1 – верхний ИК нагреватель, 2 – температурный профиль ИК пайки, 3 – прибор контроля температуры, 4 – прибор контроля напряжения, 5 – зона нагрева, 6, 7 – регуляторы напряжения, 8,9 – клавиши включения нагревателей

По окончании пайки выключить клавиши К1 и К2 питания нагревателей.

7. Провести визуальный контроль качества пайки SMD с помощью бинокулярного микроскопа МБС-2, отметить такие дефекты, как мостики и натеки припоя, непропаи и др., определить число шариков припоя на плате и другие дефекты. Данные занести в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Результаты контроля качества паяных соединений

Обозначение SMD	Вид дефекта	Причины возникновения

8. Осуществить контроль качества установки элементов на плату с помощью большого инструментального микроскопа (БИМ), для чего измерить величины смещения элементов по осям X, Y; ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ). С помощью БИМ (цена деления 10 мкм) оценить точность позиционирования SMD на плате:

- совместить один из углов SMD с перекрестием микроскопа и отметить позиции на лимбах;
- с помощью продольного лимба установить перекрестие микроскопа в точку, соответствующую противоположному углу SMD (по горизонтали или по вертикали);
- отметить величину перемещения по продольному лимбу  $\delta_1$ , мкм;
- совместить перекрестие микроскопа поперечным лимбом с ближайшим углом SMD и отметить величину перемещения  $\delta_2$ , мкм;
- рассчитать угол отклонения элемента по формуле:

$$j = \arctg \frac{\delta_1}{\delta_2}.$$

Результаты расчета точности позиционирования внести в табл. 4.7

Результаты контроля позиционирования

Обозначение элемента	$\Delta x$ , мкм	$\Delta y$ , мкм	$\Delta \varphi$ , град	$\delta$ , км	Причины отклонения

9. Проанализировать полученные результаты и построить графически температурный профиль пайки SMD ИК нагревом.

### Содержание отчета

1. Эскиз электронного микромодуля.
2. Расчет дозированного количества припойной пасты.
3. Эскиз и расчет точности позиционирования SMD.
4. Схема исследований процесса ИК пайки.
5. Таблицы экспериментальных данных.
6. Графические зависимости.
7. Выводы по работе.

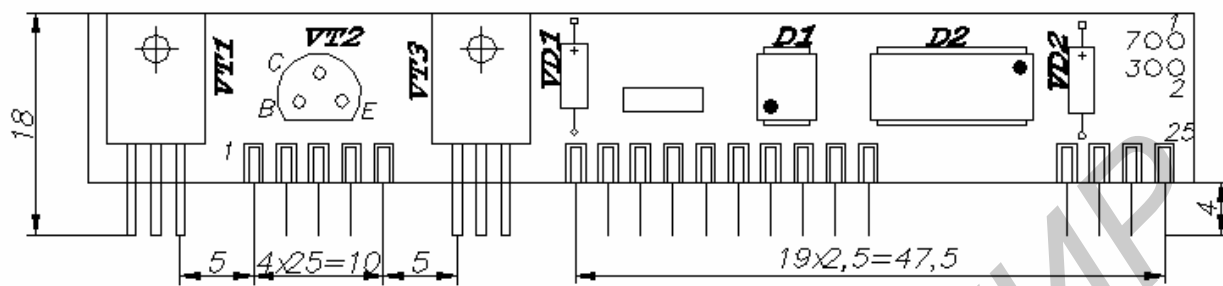
### Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества и недостатки поверхностного монтажа.
2. Что такое знакоместо?
3. От каких факторов зависит точность позиционирования SMD?
4. Какие этапы включает в себя процесс поверхностного монтажа?
5. Назовите способы центрирования SMD элементов.
6. С какой целью на печатные платы наносят реперные метки?

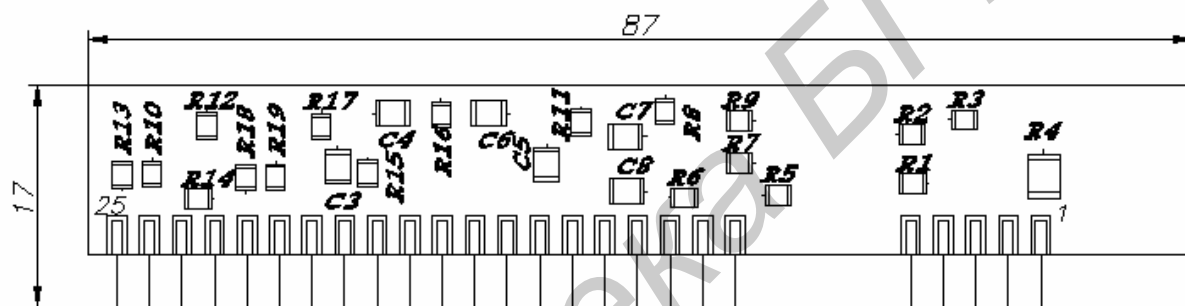
## Литература

1. Мэнгин, Ч. Г. Технология поверхностного монтажа / Ч. Г. Мэнгин, С. Макклелланд: пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 276с.
2. Технология поверхностного монтажа: учеб. пособие / С. П. Кундас, А. П. Достанко, Л. П. Ануфриев [и др.]– Минск : Армита–Маркетинг, Менеджмент, 2000. – 350с.
3. Ланин, В. Л. Пайка электронных сборок / В. Л. Ланин. – Минск : НИЭИ Министерства экономики, 1999. – 116с.
4. IPC-SM-782 А. Стандарт по конструированию печатных плат с применением технологии поверхностного монтажа, 2002.
5. Медведев, А. М. Сборка и монтаж электронной аппаратуры / А. М. Медведев.– М. : Техносфера, 2005. – 500 с.

### Чертеж электронного микро модуля



### Вид сзади



### Перечень элементов

№ позиции	Наименование	Обозначение
1	Гребенка выводная	
2-16	Резистор P1-12	R1- R15
17	Резистор ЧИП 1206	R19
18-20	Резистор P1-12	R17, R18, R20
21	Конденсатор МЧ 2220-2	C1
22-27	Конденсатор МЧ 1206-2	C2-C7,C8
28	Конденсатор МЧ 2220-2	C6
29	Диод LL4448	VD2
30	Стабилитрон KC162A2	VD1
31	Транзистор КТ3117А	VT2
32	Микросхема IN311AD	D1
33	Микросхема MC145567 DW	D2
34	Транзистор КТ817Г	VT1
35	Транзистор КТ815Г	VT3

Учебное издание

**Ланин** Владимир Леонидович

## **СБОРОЧНО–МОНТАЖНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплинам

### **ТЕХНОЛОГИЯ РЭУ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

для студентов специальностей  
«Проектирование и производство РЭС»,  
«Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»,  
«Медицинская электроника»  
всех форм обучения

Редактор С. Н. Саченко  
Корректор Е. Н. Батурчик

---

Подписано в печать 09.07.2007.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 2,8.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 3,14.  
Заказ 227.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6