

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 08.10.2023 14:47:16
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ:



Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

Локтионова 2017 г

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПАЙКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 15.03.01 Машиностроение
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Курск 2017

УДК 621.791

Составитель Н.И. Иванов

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор ЮЗГУ *Ю.Н. Селезнев*

Технология и оборудование пайки [Текст]: методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т.; сост. Н.И. Иванов. Курск, 2017. 63 с., ил. 15, табл. 6, прилож. 1. Библиогр.: с. 56.

Содержат сведения по вопросам технологии и оборудования пайки, необходимые при выполнении лабораторных работ. Указывается необходимое оборудование, материалы, порядок выполнения и оформления отчетов по лабораторным работам.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВПО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Работа предназначена для студентов дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *13.02.17*. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. *36*. Уч. - изд. л. *33*. Тираж *100* экз. Заказ *206* Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1. Исследование смачиваемости и растекаемости жидкого припоя по поверхности металла	5
Лабораторная работа № 2. Определение температурного интервала активности флюсов	15
Лабораторная работа № 3. Исследование капиллярных явлений при пайке	20
Лабораторная работа № 4. Пайка электросопротивлением меди и ее сплавов	26
Лабораторная работа № 5. Изучение конструктивных особенностей оборудования и основ технологии пайки и лужения деталей при монтаже печатных плат	35
Лабораторная работа № 6. Изучение технологических основ проектирования паяных соединений	49
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	56
ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ	57
ПРИЛОЖЕНИЕ	58

ВВЕДЕНИЕ

В процессе подготовки студентов важную роль играют лабораторные работы, так как самостоятельные практические действия способствуют лучшему усвоению теоретического материала, развитию навыков инженерного мышления, а также являются важным этапом приобщения будущих специалистов к научно-исследовательской работе.

В каждой лабораторной работе кратко дан теоретический материал, сформулирована цель, изложена методика проведения работы, определено содержание отчёта, даны контрольные вопросы, в конце методических указаний приведен список вспомогательной литературы по изучаемому курсу.

В процессе проведения отдельных лабораторных работ преподавателю рекомендуется формулировать индивидуальные задания для студентов с целью достижения большего уровня самостоятельности в работе по данной теме, более эффективного усвоения материала.

Перед выполнением лабораторных работ студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности, получить у учебного мастера необходимую техническую документацию, материалы и инструменты, распределить обязанности между отдельными членами звена во время эксперимента.

Перед началом опытов каждый студент должен ознакомиться с устройством опытной установки и с характеристиками измерительных приборов.

До начала экспериментов необходимо подготовить таблицы для записи показаний приборов, измерений и результатов расчетов.

После окончания выполнения работы рабочее место, оборудование и аппаратура приводятся в порядок и сдаются учебному мастеру.

Полученные экспериментальные данные следует проанализировать, обработать, построить необходимые графики, диаграммы и представить их для проверки преподавателю. Опыты, давшие сомнительные результаты, могут быть по указанию преподавателя повторены.

Для более полного ответа на контрольные вопросы во время лабораторных работ целесообразно пользоваться конспектом лекций.

Отчеты по лабораторным работам составляются самостоятельно каждым студентом, оформляются на листах формата А4 с титульным листом на каждую лабораторную работу.

Лабораторная работа № 1. Исследование смачиваемости и растекаемости жидкого припоя по поверхности металла

1.1 Общие сведения

Пайка – это физико-химический процесс получения соединения в результате взаимодействия твердого паяемого (основного) и жидкого припаяемого металла (припоя).

Для осуществления пайки необходимо удалить с соединяемых поверхностей оксидную пленку и создать условия взаимодействия твердого и жидкого металлов. При кристаллизации более легкоплавкого связующего металла, вступившего во взаимодействие с материалом паяемых деталей, образуется паяное соединение.

Пайка имеет сходство со сваркой плавлением, но между ними есть принципиальные различия. Пайка, в отличие от сварки плавлением, осуществляется при температурах, лежащих ниже температуры плавления паяемого металла, и может происходить в широком интервале температур. Следовательно, если при сварке основной и припаяемый материалы находятся в сварочной ванне в расплавленном состоянии, то при пайке паяемый металл не плавится. Формирование шва (спая) при пайке происходит путем заполнения припоем зазора между соединяемыми деталями, т. е. процесс пайки связан с капиллярным течением, что не имеет места при сварке плавлением.

Непременным условием пайки является смачивание припоем соединяемых материалов. Только при смачивании паяемого металла обеспечивается растекание припоя, затекание его в зазор, диффузия (массоперенос) между паяемыми материалами и припоем, сцепление соединяемых деталей при затвердевании шва. Таким образом, для пайки, в противоположность сварке плавлением и сварке в твердом

состоянии, характерно создание физического контакта и химической связи в результате смачивания паяемого материала жидким припоем.

Смачивание – это физико-химическое взаимодействие расплавленного припоя с паяемым металлом, проявляющееся в растекании припоя или образовании мениска с конечным краевым углом смачивания. Растекание флюсов по оксидным пленкам, затекание в зазоры, химическое растворение оксидных пленок во флюсе – все эти процессы также связаны со смачиванием. Без смачивания флюсами паяемых металлов вообще невозможна флюсовая пайка, которая в общем объеме пайки является преобладающей и занимает приблизительно (95÷98) %.

Физическая суть процесса смачивания заключается в том, что на поверхности контакта паяемого металла с расплавленным припоем возникает сила взаимодействия между атомами расплавленного припоя и паяемого металла, большая, чем между атомами самого жидкого припоя. И чем больше эта разница, тем лучше смачивание расплавленным припоем паяемого металла.

Взаимодействие между атомами двух разнородных фаз, жидкой и твердой, называется *адгезией* (схватыванием, прилипанием). Причиной образования связей при адгезии являются металлические, ковалентные, ионные и Ван-дер-Ваальсовские силы взаимодействия.

Взаимодействие между атомами самой жидкой фазы называется *когезией*.

Если припой в расплавленном состоянии легко удаляется (например, замшей или кожей) с поверхности твердого тела, не оставляя на ней следов, то говорят, что припой не смачивает паяемую поверхность и не облуживает ее. Если же при удалении расплавленного припоя на поверхности твердого тела остается тонкий облуживающий слой с характерным металлическим блеском, то говорят о смачивании паяемой поверхности припоем и ее облуживании. В этом случае при удалении расплавленного припоя с паяемой поверхности разрушение связей идет внутри жидкого припоя, а не по границе *твердое тело - жидкий припой*. Таким образом, под *смачиванием при пайке* понимают взаимодействие атомов жидкого припоя с атомами паяемой твердой поверхности, когда силы адгезии больше сил когезии жидкого припоя.

В некоторых случаях смачивание отождествляют с растеканием

жидкости (припоя), так как и смачивание, и растекание часто оценивают краевым углом смачивания. Однако сущность этих процессов совершенно различна. Смачивание – это взаимодействие атомов жидкой и твёрдой фаз, а растекание – это увеличение площади контакта между ними. Известно, что растекание жидкости по поверхности твёрдого тела может происходить без смачивания. Например, вода не смачивает твёрдую поверхность стекла, металла, но достаточно хорошо растекается по ним тонким слоем. Расплавленный свинец не смачивает железо, но при определённых условиях растекается по его поверхности. Растеканию жидкости в этом случае способствуют сила тяжести, высокая жидкотекучесть, относительно небольшое поверхностное натяжение жидкости и другие факторы.

Явление смачивания может иметь место только при условии, когда свободная энергия системы уменьшается, то есть, когда величина свободной энергии системы отрицательна

$$\Delta F = \Delta U - \Delta ST, \quad (1.1)$$

где ΔF – величина изменения свободной энергии системы;

ΔU – внутренняя энергия системы;

ΔS – энтропия системы;

T – температура.

Величина свободной энергии ΔF будет отрицательной, если ΔST по абсолютной величине больше ΔU или в том случае, если внутренняя энергия системы ΔU – отрицательна.

Установлено, что если силы притяжения между ионами твёрдого (паяемого) и жидкого (припоя) металлов больше, чем силы притяжения между ионами жидкого металла, то в системе выделяется тепло. В этом случае величина внутренняя энергия системы ΔU , а следовательно и ее свободная энергия ΔF , будут отрицательными, т.е. произойдет смачивание. Если силы притяжения ионов в жидком металле больше сил притяжения между ионами жидкого и твёрдого металлов, то внутренняя энергия системы ΔU является положительной величиной, а разность $(\Delta U - \Delta ST)$ может быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от свойств взаимодействующих металлов.

Из термодинамического анализа известно, что с ростом температуры энтропия системы возрастает. Это сопровождается ростом величины ΔST . Следовательно, повышение температуры системы может привести к смачиванию твердого металла жидким. Явление смачивания, кроме термодинамических, существенно зависит от физических факторов – поверхностного натяжения твердого $\sigma_{ТГ}$ и жидкого металлов $\sigma_{ЖГ}$, а также от межфазного поверхностного натяжения $\sigma_{ЖТ}$ на границе *твердый металл - жидкий припой*.

Если поместить каплю жидкого металла на нагретую твердую поверхность, то в результате явления смачивания и растекания капля займет определенную площадь на поверхности твердого металла. Растекание капли прекратится при наступлении равновесия в системе *твердый металл - жидкий припой* (рисунок 1.1).

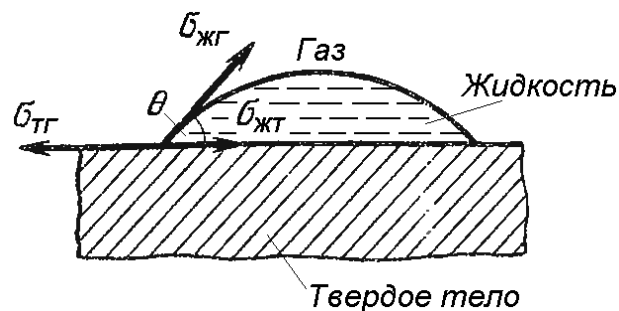


Рисунок 1.1 – Схема сил поверхностного натяжения капли жидкого припоя на поверхности твердого металла

Анализ поведения жидкости на твердой поверхности позволяет сделать вывод, что очертание капли зависит от соотношения величин поверхностного натяжения на границе раздела двух фаз: *твердое тело - газ* (флюс), *твердое тело - жидкость* (припой), *газ - жидкость* (флюс - припой).

Угол Θ между плоскостью, касательной к поверхности припоя у границы смачивания и смоченной припоем плоской поверхностью паяемого металла, называется краевым углом смачивания. Условие равновесия системы может быть представлено в виде равновесия векторов сил поверхностного натяжения

$$\sigma_{ТГ} = \sigma_{ЖТ} + \sigma_{ЖГ} \cos \Theta, \quad (1.2)$$

где $\sigma_{жг}$ – поверхностное натяжение между жидким металлом и газом, действующее по касательной к поверхности жидкого металла. Эта сила стремится до минимума уменьшить поверхность капли припоя;

$\sigma_{тг}$ – поверхностное натяжение между твердым телом и газом; сила, приводящая к растеканию жидкости по поверхности металла;

$\sigma_{жт}$ – поверхностное натяжение между жидким припоем и твердым телом.

Растекание и будет иметь место, если значение $\sigma_{тг}$ превышает $\sigma_{жт} + \sigma_{жг} \cos\Theta$.

При $\Theta=180^\circ$ растекание полностью отсутствует; при $\Theta=0$ имеет место полное, а при $0 < \Theta < 180^\circ$ – частичное растекание.

Припой лучше смачивает поверхность, если на ней имеется небольшая шероховатость. Однако шероховатость отрицательно влияет на растекание припоев, химически слабо взаимодействующих с паяемым материалом.

При хорошей смачиваемости и растекаемости $\Theta \ll 90^\circ$. Механизм растекания связан с процессом поверхностной диффузии. Критерием оценки смачиваемости и растекаемости являются коэффициенты смачивания ($\cos\Theta$) и растекания ($K_{раст}$), соответственно. Они определяются соотношением величин поверхностных натяжений:

$$\cos\Theta = \frac{\sigma_{т-г} - \sigma_{т-ж}}{\sigma_{ж-т}}, \quad (1.3)$$

$$K_{раст} = \sigma_{ж-г} [\cos\Theta - 1], \quad (1.4)$$

Изменяя составы припоя, основы флюса (газа), состояние поверхности, температуру нагрева, можно влиять на величины поверхностных натяжений и тем самым задавать ход процесса растекания.

Аналитически оценить количественно смачиваемость и растекаемость для какой-либо пары материалов оказывается практически невозможным, т.к. определение поверхностного натяжения представляет значительные экспериментальные трудности. Поэтому

оценку смачиваемости и растекаемости ведут опытным путем. Для этого расплавляют на поверхности основного металла навеску припоя определенной формы и веса и определяют площадь капли и краевой угол. Сопоставляя результаты опытов, можно сделать выводы о технологических свойствах припоев в данных конкретных условиях (флюс, температура, время растекания в т.д.) и подобрать оптимальные условия для пайки, варьируя составом флюса, припоя, температурой и временем пайки, подготовкой поверхностей.

1.2 Цель работы

Исследовать зависимость смачиваемости и растекаемости припоев системы олово-свинец от паяемого металла, состава флюса и способа подготовки паяемой поверхности.

1.3 Оборудование и материалы

1.3.1 Муфельная печь ПМ-8.

1.3.2 Лабораторные аналитические весы с разновесами.

1.3.3 Образцы из низкоуглеродистой стали и меди размером 40×40 мм, толщиной 0,8÷1,0 мм (количество – по указанию преподавателя).

1.3.4 Обезжиривающий раствор для обработки стали и меди.

1.3.5 Наждачная бумага, бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

1.3.6 Припои группы *Sn-Pb* в виде прутка или ленты различных составов с содержанием олова (по массовым долям): 0; 10; 40; 61; 90; 100 % (см. рисунок 1.2).

1.3.7 Флюсы: ФКСп, ЛТИ-120, ФДФс, Прима 2 или др. (см. ПРИЛОЖЕНИЕ табл. П4).

1.3.8 Инструменты (пинцет, плоскогубцы, ножницы по металлу, металлическая линейка, набор маркеров, молоток, тиски, пипетка, транспортёр).

1.3.9 Цифровой фотоаппарат.

1.3.10 ПЭВМ с необходимым программным обеспечением.

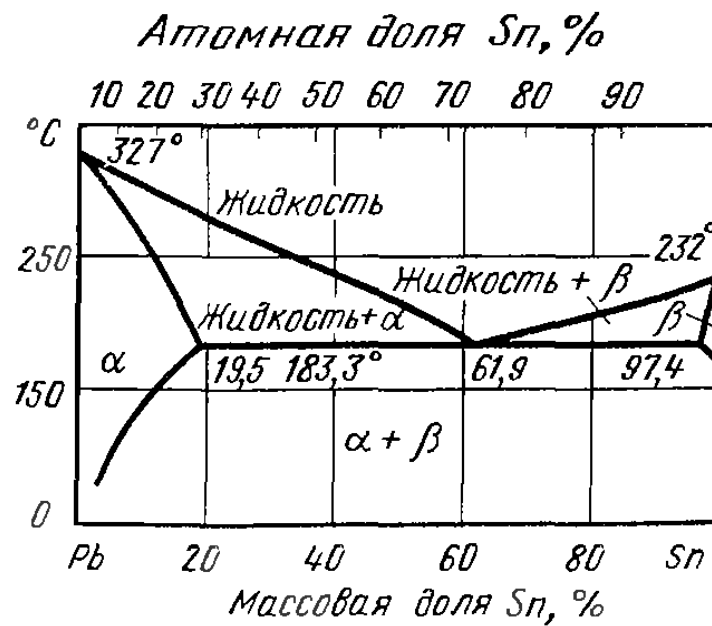


Рисунок 1.2 – Диаграмма состояния системы олово-свинец

1.4 Методика выполнения работы

1.4.1 Включить муфельную печь ПМ-8. Пользуясь сведениями, приведенными в таблице 1.1, и кривой разогрева печи, показанной на рисунке 1.3, нагреть рабочую камеру до температуры (350÷400) °С.

Таблица 1.1 – Максимальная температура в рабочей камере печи ПМ-8 в зависимости от положения переключателя

Ступень переключателя	Примерная температура, °С
0	печь выключена
1	550—600
2	600—650
3	650—700
4	700—750
5	750—800
6	800—850
7	850—900
8 и 9	не регламентируется

ПОМНИТЕ! Прежде чем включить муфельную печь, необходимо изучить руководство по ее эксплуатации. Печь обязательно должна быть заземлена. Она должна включаться в сеть при положении переключателя на 1-й ступени. При работе печь должна быть установлена на теплоизоляционную прокладку (асбест и т.п.).

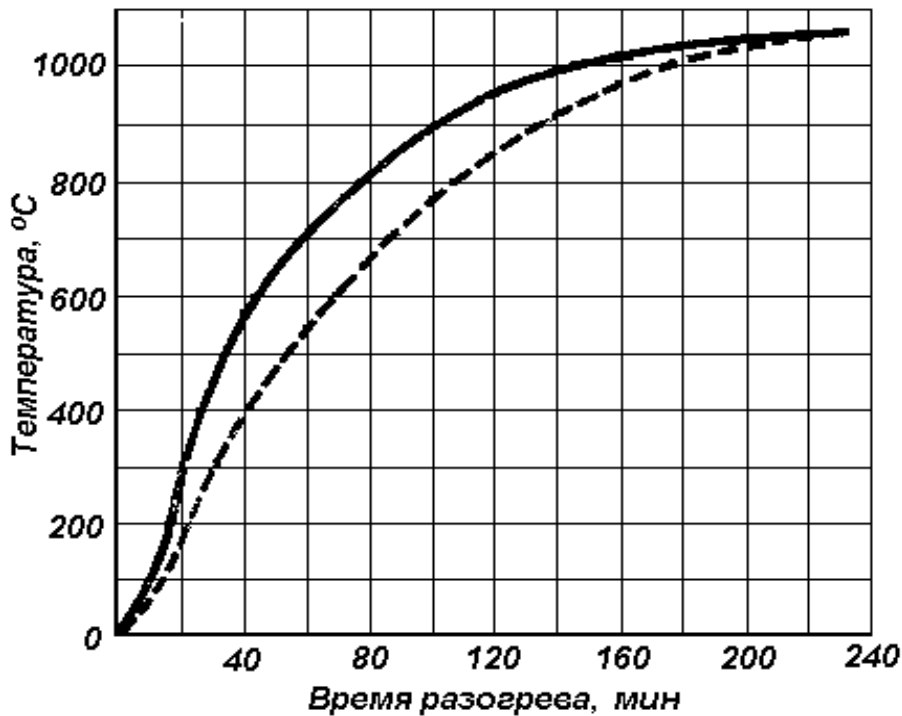


Рисунок 1.3 – Кривая нагрева печи: сплошная линия – при незагруженной рабочей камере; пунктирная – при загруженной

1.4.2 На каждой пластине отогнуть один угол с катетами 10 мм (для удобства установки в рабочую камеру печи) и на отгибе маркерами нанести порядковый номер образца, соответствующий номеру проводимого опыта (см. таблица 1.2).

1.4.3 По указанию преподавателя, обработать верхнюю поверхность каждого образца: часть образцов – наждачной бумагой и обезжиривающим раствором; часть – только наждачной бумагой; часть – только обезжиривающим раствором.

1.4.4 Из прутков (лент) припоев соответствующих составов с помощью лабораторных аналитических весов с разновесами подготовить необходимое количество (по указанию преподавателя) одина-

ково дозированных навесок. Диаметр прутков (толщину лент) во всех случаях целесообразно брать одинаковым (одинаковой).

1.4.5 Последовательно верхнюю поверхность каждого образца обработать флюсом соответствующего состава. По центру пластины поместить дозированную навеску припоя и нанести на него каплю того же флюса. Количество флюса для всех образцов следует брать одинаковым, что легко сделать с помощью пипетки.

1.4.6 Пластины в горизонтальном положении поочередно поместить в рабочую камеру муфельной печи, температура которой должна быть выше температуры плавления припоя (точка ликвидуса) не менее, чем на $(40 \div 50)$ °С и выдержать в печи в течение 2 мин.

1.4.7 Из муфельной печи пластины вынимаются аккуратно, не подвергая их сотрясению, и охлаждаются в емкости с водой. Затем тщательно промываются в проточной воде и высушиваются ветошью.

1.4.8. На каждом образце сфотографировать верхнюю поверхность пластины с припоем и профиль капли.

1.4.9 С помощью ПЭВМ по фотоснимкам образцов произвести замер площадей растекания припоя и краевого угла.

1.4.10 Полученные данные занести в таблицу (таблица 1.2) и построить кривые растекаемости в функции состава припоя, а также диаграммы зависимости растекаемости припоя от способа подготовки поверхности пластины и состава флюса.

1.4.11 Сделать выводы по результатам проведенных экспериментов.

Таблица 1.2 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Материал образца	Способ подготовки поверхности	Состав		Результаты измерений	
			припоя	флюса	площадь растекания, мм ²	краевой угол θ , град.

1.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;
- фотоснимки пластин с припоем после нагрева в печи;
- графики и диаграммы зависимости растекаемости припоя от температуры нагрева и состава припоя, способа подготовки поверхности пластины и состава флюса;
- выводы по работе.

1.6 Контрольные вопросы

1.6.1 Что такое пайка?

1.6.2 В чем отличие процесса пайки от сварки?

1.6.3 Что такое смачивание?

1.6.4 В чем заключается физическая сущность процесса смачивания?

1.6.5 Что такое адгезия и когезия?

1.6.6 При выполнении какого условия имеет место явление смачивания?

1.6.7 Что является критерием оценки смачивания?

1.6.8 От чего зависит величина краевого угла смачивания?

1.6.9 Что является критерием оценки растекаемости?

1.6.10 Может ли происходить растекание жидкости по поверхности твёрдого тела без смачивания? Что в этом случае способствует растеканию жидкости?

1.6.11 Как практически оценивают смачиваемость и растекаемость припоя?

Лабораторная работа № 2. Определение температурного интервала активности флюсов

2.1 Общие сведения

Нанесенный на соединяемые поверхности паяемых металлов флюс при нагревании плавится, растекается, смачивает их и, при некоторой температуре, называемой минимальной температурой действия флюса, вступает в химическое взаимодействие. В результате взаимодействия удаляется окисная пленка.

Минимальной температурой действия флюса называется наименьшая температура, при которой флюс вступает в активное химическое взаимодействие с окисной пленкой или непосредственно с металлом, обеспечивая смачивание паяемой поверхности припоем. С повышением температуры активность этого взаимодействия увеличивается.

Верхним пределом температурного интервала действия флюса является температура, при которой существенно снижается его активность в результате испарения отдельных компонентов и начинается окисление основного металла и припоя под слоем флюса.

Интервал между минимальной и максимальной температурами действия флюса называется температурным интервалом активности флюса.

При пайке температура начала действия флюса должна быть ниже температуры плавления припоя с тем, чтобы к моменту его расплавления процесс флюсования прошел достаточно полно. Если температура плавления и температура активности действия флюса будут значительно ниже температуры плавления припоя, то процесс флюсования пройдет преждевременно, а это может привести к окислению основного металла.

Если же температура припоя будет ниже температурного интервала активности флюса, смачивание поверхности основного металла припоем будет недостаточно.

Активность флюса является функцией не только температуры, но и выдержки при пайке. Это необходимо учитывать при определении оптимальных режимов пайки. Высокое качество пайки достига-

ется при температурах пайки вблизи верхней температурной границы активности, но не выше её.

Принимая за меру активности флюса площадь растекания дозированной навески припоя, можно построить зависимость активности флюса от температуры. С повышением температуры площадь растекания припоя вначале будет увеличиваться, а затем резко снижаться. Температура, соответствующая максимальному растеканию припоя, является верхней температурной границей активности флюса и обозначается T_{max} (см. рисунок 2.1). Температура, при которой начинается растекание припоя, является нижней температурной границей активности – T_{min} . Интервал $(T_{max} - T_{min})$ и будет интервалом активности флюса.

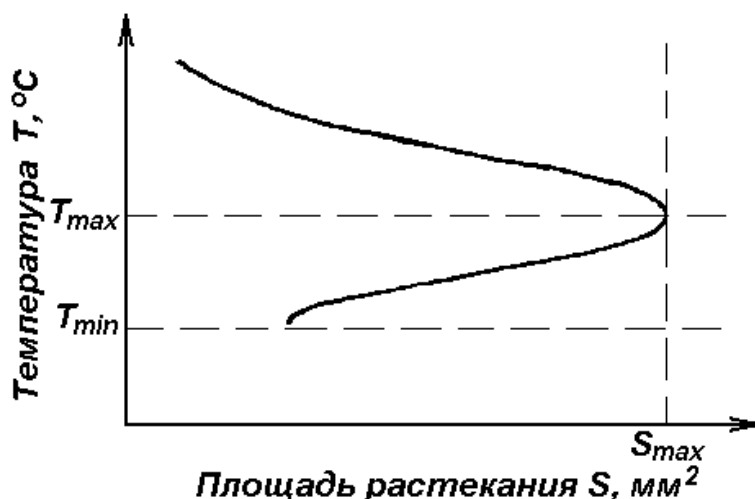


Рисунок 2.1 – К определению температурного интервала активности флюса

Состав установки для определения температурного интервала активности флюсов показан на рисунке 2.2.

2.2 Цель работы

Определить температурный интервал активности флюсов при пайке оловянно-свинцовым припоем.

2.3 Оборудование и материалы

2.3.1 Муфельная печь ПМ-8.

2.3.2 Регулятор максимальной температуры нагрева с термоэлектрическим термометром.

2.3.3 Лабораторные аналитические весы с разновесами.

2.3.4 Заготовки образцов из меди размером 40×40 мм, толщиной 0,8÷1,0 мм (количество – по указанию преподавателя).

2.3.5 Ацетон технический.

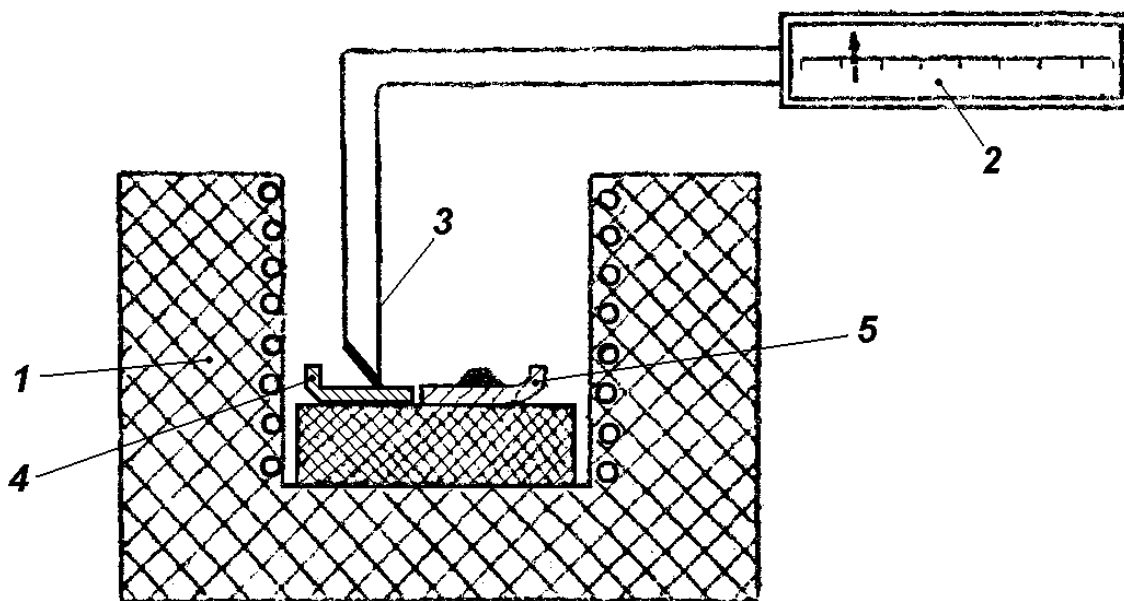


Рисунок 2.2 - Схема установки для определения температурного интервала активности флюсов: 1 – муфельная печь ПМ-8; 2 – регулятор максимальной температуры нагрева Ш69006; 3 – термоэлектрический термометр; 4 – технологическая пластина; 5 – образец с навеской припоя

2.3.6 Наждачная бумага, бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

2.3.7 Припой ПОС 61 в виде прутка или ленты.

2.3.8 Флюсы: ФКСп, ЛТИ-120, Прима 2 или др. (см. таблица П4).

2.3.9 Инструменты (пинцет, плоскогубцы, ножницы по металлу, металлическая линейка, набор маркеров, молоток, тиски, пипетка).

2.3.10 Цифровой фотоаппарат.

2.3.11 ПЭВМ с необходимым программным обеспечением.

2.4 Методика выполнения работы

2.4.1 Включить муфельную печь ПМ-8, установив на регуляторе максимальную температуру нагрева 200 °С. Нагреть печь, снимая термоэлектрическим термометром температуру с медной технологической пластины, помещенной в рабочую камеру.

2.4.2 На каждом образце отогнуть один угол с катетами 10 мм и на отгибе маркерами нанести порядковый номер образца, соответствующий номеру проводимого опыта (см. таблица 2.1).

2.4.3 Обработать верхнюю поверхность каждого образца наждачной бумагой и ацетоном.

2.4.4 Подготовить компактные навески оловянно-свинцового припоя весом по 0,5 Г (по количеству обработанных медных пластин). Каждую навеску припоя уложить в центре маркированной пластины.

2.4.5 Нанести на медную пластину с навеской припоя 4÷6 капель одного из исследуемых флюсов.

2.4.6 Поместить пластину с навеской припоя и флюсом в рабочую камеру муфельной печи (рисунок 2.2), нагретую до заданной температуры испытания (таблица 2.1), контролируруемую термоэлектрическим термометром.

2.4.7 Каждый образец в рабочей камере печи необходимо выдержать при требуемой температуре испытания одну минуту, после чего аккуратно, не подвергая его сотрясению, извлечь из печи.

2.4.8 Образцы, извлеченные из печи, охлаждаются в емкости с водой. Затем тщательно промываются в проточной воде и высушиваются ветошью.

2.4.9 На каждом образце сфотографировать верхнюю поверхность с припоем.

2.4.10 С помощью ПЭВМ по фотоснимкам образцов произвести замер площадей растекания припоя.

2.4.11 Полученные данные занести в таблицу (таблица 2.1).

2.4.12. По результатам эксперимента построить графики зависимости площади растекания припоя от температуры, определив температурный интервал активности исследуемых флюсов.

2.4.13. На основании анализа полученных зависимостей указать оптимальные температурные условия пайки меди оловянно-свинцовыми припоями при использовании исследуемых флюсов.

2.4.14 Сделать выводы по результатам проведенных экспериментов.

Таблица 2.1 – Результаты замеров

№ образца	Температура испытания, °С	Площадь растекания припоя, мм ²		
		флюс №1	флюс №2	флюс №3
1	200	+		
2			+	
3				+
4-6	250			
7-9	300			
10-12	400			

2.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;
- фотоснимки пластин с припоем после нагрева в печи;
- графики зависимости площади растекания припоя от температуры для использованных в работе флюсов и температурные интервалы их активности;
- выводы по работе.

2.6 Контрольные вопросы

2.6.1 Что такое минимальная температура действия флюса?

2.6.2 Чем характеризуется верхний предел температурного интервала действия флюса?

2.6.3 Как называется интервал между минимальной и максимальной температурами действия флюса?

2.6.4 Почему при пайке температура начала действия флюса должна быть обязательно ниже температуры плавления припоя?

2.6.5 Влияет ли время выдержки при пайке на активность флюса?

2.6.6 Что принимается за меру активности флюса?

2.6.7 Чем объясняется наличие максимума на кривой активности флюса?

Лабораторная работа № 3. Исследование капиллярных явлений при пайке

3.1 Общие сведения

Образование непрерывной межатомной связи между соединяемыми деталями при пайке достигается без расплавления их кромок путем смачивания твердых поверхностей более легкоплавким расплавленным металлом (припоем). Поэтому смачивание считается основным процессом в образовании соединения при пайке.

Смачивание жидким металлом твердой поверхности сопровождается установлением прочных химических связей между атомами жидкости (расплавленного припоя) и твердого тела (поверхности паяемого металла).

С процессом смачивания тесно связано явление капиллярности. Для практического осуществления процесса пайки и лужения необходимо обеспечить затекание припоя в зазоры соединяемых деталей или растекание припоя по поверхности. Заполнение зазора между соединяемыми поверхностями жидким припоем происходит под действием капиллярного давления.

При пайке листовых деталей внахлестку, когда затекание припоя происходит по плоскому капилляру, давление в нем определяется выражением:

$$P_{\text{кап}} = \frac{2\sigma_{\text{жс}} \cos\Theta}{a}, \quad (3.1)$$

где $\sigma_{\text{жс}}$ – поверхностное натяжение жидкости;

Θ – краевой угол смачивания;

a – величина зазора между паяемыми поверхностями.

Действие капиллярных сил оценивается по высоте подъема припоя в зазоре. Максимальная высота подъема H припоя в капил-

ляре может быть найдена из условия равенства капиллярного давления $P_{кан}$ статическому давлению припоя $P_{см}$ под действием силы тяжести:

$$P_{см} = \gamma H g \quad , \quad (3.2)$$

где γ – плотность металла припоя;

H – высота подъема припоя в зазоре;

g – ускорение свободного падения.

Тогда из равенства $P_{кан}=P_{см}$ следует:

$$H = \frac{2\sigma_{ж} \cos\Theta}{a\gamma g} \quad , \quad (3.3)$$

Таким образом, высота подъема жидкости в капиллярном зазоре прямо пропорциональна поверхностному натяжению, зависит от природы металла и припоя и обратно пропорциональна величине зазора и плотности жидкого припоя.

Поэтому при конструировании паяных соединений и их сборке следует стремиться к получению минимальных зазоров, чтобы обеспечить максимальное проникновение припоя в зазор. При этом необходимо учитывать ряд обстоятельств:

- чрезмерное уменьшение зазора может потребовать значительного времени для его заполнения;
- с уменьшением зазора повышаются требования к точности обработки сопрягаемых поверхностей, что увеличивает стоимость изделия;
- при пайке разнородных металлов из-за различия в коэффициентах линейного расширения зазор в процессе пайки и кристаллизации изменяется, он может чрезмерно увеличиваться или уменьшаться, что приводит к плохому его заполнению, возникновению значительных внутренних напряжений, трещин и коробления деталей;
- при очень малых зазорах заполнение его припоем при пайке с использованием флюсов может затрудняться из-за образования

«пробок» (продуктов реакции флюса с окислами металла, обладающих значительной вязкостью) на пути движения жидкости.

Смачивание поверхности и затекание припоя в зазоры зависит не только от свойств самого припоя и металла, но также от состояния соединяемых поверхностей. При полированных поверхностях заполнение хуже, чем при поверхностях, имеющих риски от резца или иного инструмента. Риски сами по себе являются капиллярами и облегчают растекание припоя и заполнение зазора. Также положительно влияет на заполнение зазора предварительное слабое травление поверхности кислотой.

В производственных условиях, особенно в массовом производстве, эффективным приемом улучшения паяемости материалов является их предварительное облуживание или серебрение.

На практике иногда для улучшения заполнения зазора жидким припоем создают небольшое разряжение воздуха.

3.2 Цель работы

Выявить зависимость высоты подъема припоя от величины зазора при различных способах подготовки соединяемых поверхностей деталей.

3.3 Оборудование и материалы

3.3.1 Специальная ванна с припоем типа ПОС 40 (рисунок 3.1).

3.3.2 Плитка электрическая бытовая.

3.3.3 Приспособление для сборки пар пластин под углом, имитирующим переменный зазор, и погружения их в расплавленный припой (рисунок 3.2).

3.3.4 Милливольтметр типа Ш69003 с термоэлектрическим термометром градуировочной характеристики ХК или ХА.

3.3.5 Заготовки пластин из низкоуглеродистой стали и меди размером 50×35 мм, толщиной 0,8÷1,0 мм (количество – по указанию преподавателя).

3.3.6 Ацетон технический.

3.3.7 Флюсы для низкотемпературной пайки: ФКСп, ЛТИ-120, Прима 2 или др. по указанию преподавателя (см. таблица П4).

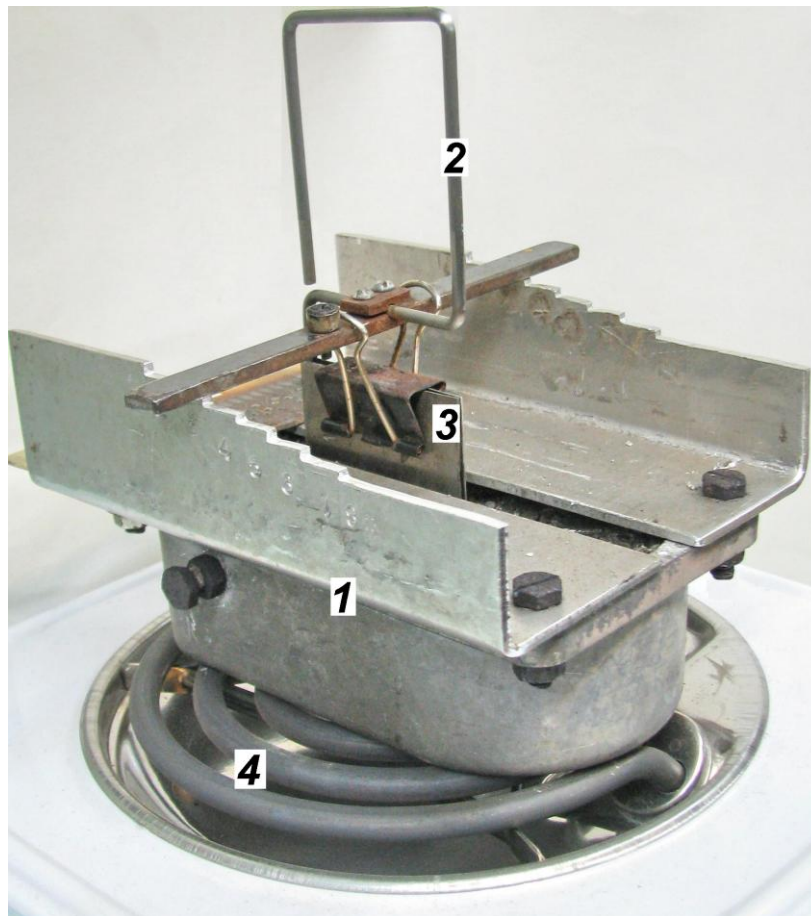
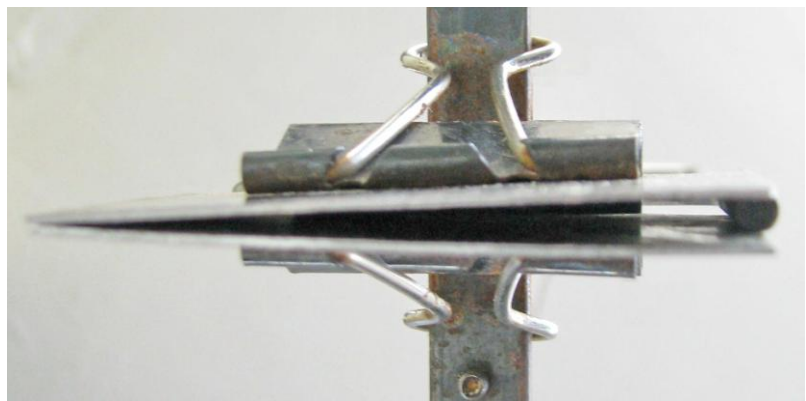


Рисунок 3.1 – Стенд для проведения опытов по исследованию капиллярных явлений при пайке: 1 – ванна с припоем; 2 – приспособление; 3 – пара пластин; 4 – плитка электрическая



а



б

Рисунок 3.2 – Сборка пластин в приспособлении: *а* – вид приспособления с пластинами сбоку; *б* – вид на пластины снизу

3.3.8 Наждачная бумага, бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

3.3.9 Инструменты (напильник полукруглый с грубой насечкой, плоскогубцы, штангенциркуль, набор маркеров, молоток, тиски, зубило, металлическая линейка, чертилка).

3.3.10 Цифровой фотоаппарат.

3.3.11 ПЭВМ с необходимым программным обеспечением.

3.4 Методика выполнения работы

3.4.1 Установить ванну с припоем на электрическую плитку и, включив ее, нагревать припой до температуры 300 °С. Температуру припоя контролировать термоэлектрическим термометром, подключенным к милливольтметру Ш69003.

3.4.2 Все пластины попарно промаркировать одинаковым номером, соответствующим номеру опыта (таблица 3.1). Одна из пластин маркируется в верхнем правом, а другая – в верхнем левом углах.

3.4.3 Все пластины должны быть тщательно отрихтованы и не иметь по краям заусенцев. При наложении пластин друг на друга внутренними сторонами (где отсутствует маркировка) между ними не должно быть зазора.

3.4.4 Обработать внутреннюю поверхность каждой пары пластин в соответствии с требованиями условий проведения опыта (таблица 3.1):

- только наждачной шкуркой;
- наждачной шкуркой и растворителем;
- наждачной шкуркой и в направлении, перпендикулярном основанию пластин, напильником с грубой насечкой с целью получения вертикальных рисок.

3.4.5 На обработанные поверхности пластин тампоном нанести флюс в соответствии с требованиями условий проведения опыта (таблица 3.1).

3.4.6 Последовательно собирать в приспособлении (рисунок 3.2, а) каждую пару пластин таким образом, чтобы между обработанными поверхностями был переменный зазор (рисунок 3.2, б).

3.4.7 Собранные в приспособлении пары пластин осторожно, не бросая, устанавливаем на нужную ступень на боковинах ванны (ри-

сунок 3.1, шаг высоты ступеней равен 2,0 мм) в соответствии с требуемой глубиной погружения пластин относительно зеркала поверхности припоя. Глубина погружения пластин в расплав припоя для разных опытов должна составлять от 2 до 16 мм (по указанию преподавателя).

3.4.8 Пластины в ванне с расплавленным припоем выдерживать в течение 3 мин.

3.4.9 После выдержки аккуратно, без сотрясений снять приспособление с ванны и охладить пластины в емкости с водой.

3.4.10 Освободить пластины из приспособления и в тисках зубилом оторвать их друг от друга.

3.4.11 Отделенные друг от друга пластины высушить, используя фильтровальную бумагу и хлопчатобумажную бязь.

3.4.12 Поверхности с припоем пластин, полученных в каждом опыте, сфотографировать.

3.4.13 С помощью ПЭВМ по фотоснимкам образцов замерить высоту перемещения припоя в сечениях, соответствующих различным зазорам (см. таблица 3.1), учитывая начальную глубину погружения каждой пары пластин.

3.4.14 Полученные данные занести в таблицу (таблица 3.1).

3.4.15 Построить графики зависимости высоты перемещения припоя от величины зазора при различных способах подготовки паяемых поверхностей и для различных флюсов.

Таблица 3.1 – Форма записи результатов исследований

№ опыта	Материал пластин	Способ подготовки	Флюс	Глубина погружения, мм	Высота перемещения припоя при величине зазора, мм					
					0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5

3.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;
- фотоснимки пластин с припоем после их разъединения;
- графики зависимости высоты перемещения припоя от величины зазора при различных способах подготовки поверхностей пластин из меди и стали и для различных флюсов;
- выводы по работе.

3.6 Контрольные вопросы

3.6.1 Какую роль в процессе пайки выполняют капиллярные силы?

3.6.2 От каких факторов (параметров) зависит капиллярное давление?

3.6.3 Как расчетным путем определяется высота подъема припоя в зазоре и от каких факторов она зависит?

3.6.4 Как экспериментально определить влияние различных факторов на высоту подъема припоя?

3.6.5 Объяснить физическую сторону влияния способа подготовки поверхностей и величины зазора между ними на высоту перемещения припоя в зазоре.

Лабораторная работа № 4. Пайка электросопротивлением меди и ее сплавов

4.1 Общие сведения

В низковольтной аппаратуре, как и во многих изделиях электротехнической промышленности, широко применяется медь и её сплавы. В производстве изделий из меди и её сплавов почти всегда существует проблема получения стабильно прочного соединения. Эта проблема связана, прежде всего, с высокой тепло- и электропроводностью материалов, с трудностью концентрации нагрева в месте соединения (особенно массивных деталей), с образованием окисных

плёнок и др. Поэтому медь и её сплавы относятся к числу трудно свариваемых материалов, как способами сварки плавлением, так и давлением. В электронной и электротехнической промышленности основным способом соединения меди и её сплавов преимущественно является пайка.

Медь промышленных марок М0÷М4, отличающихся содержанием примесей, имеет температуру плавления близкую к 1083 °С. При нагреве ниже 375 °С на поверхности меди образуется окисел CuO , а при нагреве выше этой температуры – окислы CuO и Cu_2O , которые легко удаляются при пайке.

В связи с этим низкотемпературная пайка меди, осуществляемая при температуре нагрева ниже 450 °С, не представляет больших трудностей даже при применении малоактивных канифольевых флюсов, не вызывающих коррозии паяных соединений.

Тем не менее, во многих случаях при пайке сложных конструкций из меди применяют активные флюсы типа ЛТИ-1, ЛТИ-120, ЛК-2, хлористый цинк и др. После пайки с активными флюсами изделие тщательно промывают. Часто на практике для облегчения пайки применяют предварительное облуживание деталей. На медные детали, подлежащие пайке, наносят тонкий слой полуды электролитическим или гальваническим методами, а также погружением в ванну с расплавленным припоем.

При низкотемпературной пайке меди применяют оловянно-свинцовые припои системы ПОС, легкоплавкие малосеребряные припои типа ПСр2, ПСр3 и др.

Для высокотемпературной пайки меди применяют серебряные (ПСр40, ПСр72 и др.), медно-цинковые (ПМЦ 54) и медно-фосфорные (МФ1, МФ2) припои (см. таблица П3). При пайке на воздухе серебряными и медно-цинковыми припоями используют флюсы на основе буры, борного ангидрида с добавками фторидов. При применении медно-фосфорных припоев отдельно флюс не требуется благодаря флюсующему действию фосфора.

Для некоторых изделий из листовой меди нашел применение процесс бесфлюсовой пайки за счёт контактного плавления в системе серебро-медь. На соединяемые поверхности медных деталей предварительно наносят тонкий слой серебра толщиной (10÷15) мкм. Детали нагревают до температуры (800÷850) °С, превышающей темпера-

туру образования эвтектики серебро-медь 779 °С. Образуется припой ПСр72, который смачивает контактирующие поверхности деталей.

Латуни содержат от 4 до 38 % цинка, имеют температуру плавления (905÷1070) °С. Состав окисной пленки, образующейся на латунных поверхностях, зависит от содержания цинка в сплаве. При содержании цинка до 15 % окисная пленка состоит из окисла Cu_2O , а при содержании свыше 20 % – в основном из ZnO .

Смачивание поверхности деталей из латуни при пайке оловянно-свинцовыми припоями достигается только с применением активных флюсов (ЛТИ-120, ЛК-2, хлористого цинка и др.). Рекомендуется также предварительное облуживание латунных деталей перед пайкой.

Для получения паяного соединения латуни чаще применяют высокотемпературную пайку медно-фосфорными, серебряными и медно-цинковыми припоями. При пайке на воздухе указанными припоями используют флюсы на основе буры и борного ангидрида с добавками фторидов.

Наибольшую трудность в обеспечении смачивания представляют латуни, содержащие свинец (ЛС59-1, ЛС63-3). Для того, чтобы уменьшить испарение цинка с поверхности и ограничить растворение в серебряных и медно-фосфорных припоях рекомендуется ускоренный нагрев и сокращение выдержки при температуре пайки. Такой цикл пайки реализуется электроконтактным нагревом или нагревом токами высокой частоты.

Бронзы оловянистые (БрОФ10-1, БрОЦ4-3) кроме олова содержат фосфор или цинк. Их температура плавления составляет (995÷1050) °С. Хромистые бронзы (например, БрХ0,5 и БрХ0,8) содержат небольшие добавки хрома, упрочняющие медь. Температура плавления этих сплавов – (1084÷1090) °С. Окисная пленка на поверхности хромистой бронзы содержит некоторое количество Cr_2O_3 .

Бериллиевые бронзы (БрБ2, БрБНТ) содержат (2÷2,5) % бериллия и плавятся при температурах (866÷955) °С. Большое сродство бериллия к кислороду вызывает его окисление и появление на поверхности химически стойкой окисной пленки BeO .

Алюминиевые бронзы содержат от 5 до 12 % алюминия. Они плавятся при температуре около 1050 °С. На поверхности образуется относительно тугоплавкая окись алюминия.

Пайка указанных бронз, кроме оловянистых, представляет собой наибольшую трудность. При низкотемпературной пайке применяют активные флюсы (ЛК-2, хлористый цинк и др.). При высокотемпературной пайке используются флюсы на основе буры и борного ангидрида, в которые вводятся фтористые и хлористые соединения.

В ПРИЛОЖЕНИИ приведены химический состав и температурные характеристики некоторых припоев и флюсов, используемых для пайки меди и ее сплавов (см. таблицы П1-П5).

При пайке электросопротивлением нагрев может осуществляться различным образом:

- за счет выделения тепла в зоне соединения по закону Джоуля-Ленца при непосредственном прохождении тока через паяемые детали;
- нагрев одной детали за счёт теплопередачи при пропускании тока через вторую деталь;
- нагрев обеих деталей за счёт теплопередачи при пропускании тока через специальные вставки-нагреватели.

Нагрев теплопередачей применяется в случаях, когда одна из деталей имеет размеры значительно меньше другой.

При данном способе пайки припой укладывается в виде фольги, погружаемой перед пайкой в жидкий флюс, или насыпается в виде порошка между соединяемыми поверхностями. В последнем случае флюс высаживается из припоя в процессе его расплавления и взаимодействия с материалом паяемых деталей.

Пайка осуществляется на электроконтактных машинах с использованием мягких режимов, т.е. при относительно длительном токе малой величины и небольшом сжимающем усилии. Для уменьшения теплоотвода в электроды, они изготавливаются комбинированными – корпус электрода, включая его хвостовую часть, изготавливается из меди, а рабочая часть электродов выполняется из вольфрама или молибдена. Такая конструкция электродов способствует повышению КПД нагрева, особенно при пайке меди и ее сплавов или других высокотеплопроводных и электропроводных материалов. Для снижения переходного электросопротивления и предотвращения

возможного подплавления детали в контакте с электродом, уменьшения его износа, конфигурация токоподводящей рабочей поверхности электродной вставки должна соответствовать форме и размерам паяемой детали.

Параметры режима пайки – усилие сжатия, ток и время его протекания подбираются опытным путем. Равномерный нагрев достигается подбором формы и размеров электродной напайки. Не допускается попадание флюса на рабочую поверхность электродов.

Контроль качества пайки и изделия в целом производится на всех стадиях его изготовления и осуществляется по различным критериям: внешнему виду соединения; основным геометрическим размерам; усилию среза или отрыва; площади спая (растекания припоя).

Для неразрушающего контроля используются различные шаблоны, а для разрушающего – разрывные машины.

4.2 Цель работы

Изучить технологические основы способа пайки электроконтактным нагревом, освоить технику выполнения соединения и исследовать влияние длительности нагрева на качество паяного соединения.

4.3 Оборудование и материалы

4.3.1 Контактная точечная машина типа МТПК-25 с регулятором цикла сварки РЦС-403 (рисунок 4.1).

4.3.2 Детали автоматических выключателей, подвергаемые пайке – медные контактодержатели и контактные площадки (количество по указанию преподавателя).

4.3.3 Медно-фосфорные и серебряные припои для высокотемпературной пайки (по указанию преподавателя, состав припоев приведен в табл. ПЗ).

4.3.4 Разрывная машина типа РТ-250 М.

4.3.5 Приспособление для фиксирования паяного образца в зажимах машины РТ-250 М.



Рисунок 4.1 – Машина для электроконтактной пайки МТПК-25

4.3.6 Инструменты (плоскогубцы, штангенциркуль, набор маркеров, молоток, плоский напильник с мелкой насечкой).

4.3.7 Наждачная бумага, растворитель.

4.3.8 Цифровой фотоаппарат.

4.3.9 ПЭВМ с необходимым программным обеспечением.

4.4 Методика выполнения работы

4.4.1 На контактодержателях, по центру, проставить маркерами номера образцов, соответствующие номерам опытов (таблица 4.1). Поверхности контактодержателей должны быть отрихтованы.

4.4.2 Обработать паяемые поверхности контактодержателей и контактов напильником, наждачной шкуркой и растворителем с целью удаления загрязнений и окисных пленок.

4.4.3 Подготовить контактную машину к проведению экспериментов:

- подключить пневматический привод сжатия машины к магистрали со сжатым воздухом;

- воздушным редуктором установить усилие сжатия паяемых деталей $40 \div 50$ даН;
- переключателем ступеней мощности машины установить минимальную ступень сварочного трансформатора;
- на РЦС-403 (рисунок 4.2) регулятором «НАГРЕВ» установить требуемое значение (по указанию преподавателя) фазовой регулировки тока;



Рисунок 4.2 – Панель настройки регулятора РЦС-403

- на РЦС-403 установить требуемые значения времени протекания всех этапов цикла электроконтактной пайки (по указанию преподавателя) – «СЖАТИЕ», «СВАРКА» (пайка), «ПРОКОВКА»;

4.4.4 Включить РЦС-403 в сеть (переключателем «СЕТЬ ВКЛ.») и проверить работу машины в режиме холостого хода (при отключенной переключателем «ВЫКЛ. – ВКЛ.» цепи управления тиристорным контактором).

4.4.5 На обработанную поверхность контактодержателя, в месте будущей пайки, насыпать тонким слоем припой и аккуратно, не сотрясая образец, уложить на припой медный контакт симметрично продольной оси контактодержателя.

4.4.6 Установить собранные детали между электродами машины и осуществить электроконтактную пайку.

ВНИМАНИЕ ! Припой не должен попадать в контакт электрод-деталь. В противном случае рабочие поверхности электродов

должны быть защищены от полуды напильником при отключенной от сети контактной машине.

4.4.7 Перед испытанием паяного образца на разрывной машине предварительно проверить качество пайки плоскогубцами, прикладывая к контактной площадке незначительное скручивающее усилие относительно контактодержателя. При отсутствии «схватывания» паяемых деталей, скорректировав в сторону увеличения время протекания тока, осуществить пайку следующего образца.

4.4.8 При наличии «схватывания» в полученном образце установить его в специальное приспособление и, зажав в губках машины РТ-250М, провести испытание паяного соединения на срез. При разрушении образца следует обратить внимание на поверхность контактной площадки, занятую полудой припоя. Параметры настройки контактной машины и результат испытания занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Марка припоя	Параметры настройки режима				Прочность соединения, даН
		ток		время нагрева, с	усилие, даН	
		ступень	нагрев			

4.4.9 Сфотографировать поверхности деталей в местах зоны пайки после разрушения образца.

4.4.10 Далее, для исследования влияния времени нагрева на прочность паяного соединения, последовательно паять и испытывать на срез образцы, увеличивая для каждого следующего образца время протекания тока на 0,2 с . Параметры настройки режима пайки и результаты испытаний также занести в таблицу 4. 1. Поверхности деталей после разрушения образцов фотографировать.

4.4.11 Пайку образцов по условиям, отмеченным в п. 4.4.10, осуществлять до тех пор, пока будет получено соединение с максимальной для данного припоя прочностью. При получении паяного соединения с сомнительным результатом прочности, на каком либо режиме настройки, опыт (по указанию преподавателя) может быть повторен.

4.4.12 Построить график зависимости прочности паяного соединения от времени протекания тока.

4.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;
- фотоснимки образцов;
- график зависимости прочности соединения от времени протекания тока;
- выводы по работе.

4.6 Контрольные вопросы

4.6.1 С чем связана проблема получения качественных соединений медных деталей методами контактной сварки? Как эта проблема решается в изделиях электротехнической промышленности?

4.6.2 Что способствует получению качественных соединений деталей из меди при низкотемпературной пайке?

4.6.3 Какие флюсы используют для низкотемпературной пайки?

4.6.4 Какие припои используют для низкотемпературной пайки?

4.6.5 Какие припои используют для высокотемпературной пайки?

4.6.6 Какие флюсы используют для высокотемпературной пайки?

4.6.7 Как осуществить высокотемпературную пайку меди без применения флюса?

4.6.8 Особенности высокотемпературной пайки латунных деталей?

4.6.9 Особенности высокотемпературной пайки деталей из различных бронз?

4.6.10 Как при пайке электросопротивлением может осуществляться нагрев?

4.6.11 В каких случаях применяется нагрев за счет теплопередачи?

4.6.12 Почему процесс электроконтактной пайки осуществляется на мягких режимах?

4.6.13 Какие электроды должны использоваться при электроконтактной пайке меди и ее сплавов?

4.6.14 Как и почему определяются параметры режима электроконтактной пайки?

4.6.15 Как осуществляется контроль качества пайки, выполненной электроконтактным нагревом?

4.6.16 Чем и почему отличаются режимы контактной сварки и электроконтактной пайки медных деталей?

Лабораторная работа № 5. Изучение конструктивных особенностей оборудования и основ технологии пайки и лужения деталей при монтаже печатных плат

5.1 Общие сведения

5.1.1 Общие требования к монтажной пайке

Образование непрерывной межатомной связи между соединяемыми деталями при пайке достигается без расплавления их кромок путём смачивания твердых поверхностей более легкоплавким жидким металлом (припоем). Окисная пленка является главным препятствием образования паяного соединения. Её физико-химические свойства, толщина и скорость образования неодинаковы для различных металлов.

Общим для процессов пайки всех металлов является обязательное выполнение следующих условий:

- очистка поверхности деталей от пыли, жира, краски и выбор способов и средств (лужение, флюс, газовая среда, вакуум), обеспечивающих активное растворение окисной пленки на поверхности основного металла и припоя и защиту от окисления;

- выбор состава припоя, способного смачивать и растворять твердый металл паяемых деталей с образованием оптимальной структуры паяного шва;
- обеспечение между соединяемыми поверхностями технологических зазоров, гарантирующих течение жидкого припоя по капиллярам и растекание его по всей поверхности при соответствующих других условиях;
- равномерный нагрев деталей и припоя до температуры, превышающей точку начала затвердевания припоя (линия ликвидус на диаграмме состояния припойного сплава) на $(50 \div 100)$ °С.

При невыполнении хотя бы одного из перечисленных условий пайка металлов становится затруднительной, либо вообще невозможной.

Монтаж печатных плат обычно представляет собой пайку выводов круглого и некруглого сечения в металлизированные и неметаллизированные отверстия плат. Предварительно выводы навесных элементов, контактные площадки, токопроводящие дорожки, металлизированные отверстия подвергаются лужению. Наиболее распространенные в практике типы монтажных паяных соединений показаны на рисунке 5.1.

Смачивание и растекание жидкого припоя связаны с явлением капиллярности. Эти явления подчиняются общим физическим законам течения жидкостей по капиллярам. Как известно, высота подъема жидкости в капилляре прямо пропорциональна поверхностному натяжению и обратно пропорциональна плотности жидкости и радиусу капилляра (величине зазора).

При пайке конкретным припоем при заданной температуре поверхностное натяжение и плотность жидкого припоя являются константами. В этом случае определяющей будет величина технологического зазора между соединяемыми поверхностями деталей. Для каждого случая пайки имеется свой оптимальный зазор, превышение или уменьшение которого ухудшает условия затекания припоя и образования удовлетворительной (вогнутой) формы галтели паяного шва. Выбор величины зазора зависит от состава припоя и материала деталей, различия в коэффициентах линейного расширения соединяемых материалов при нагреве, свойств флюса и способа нагрева.

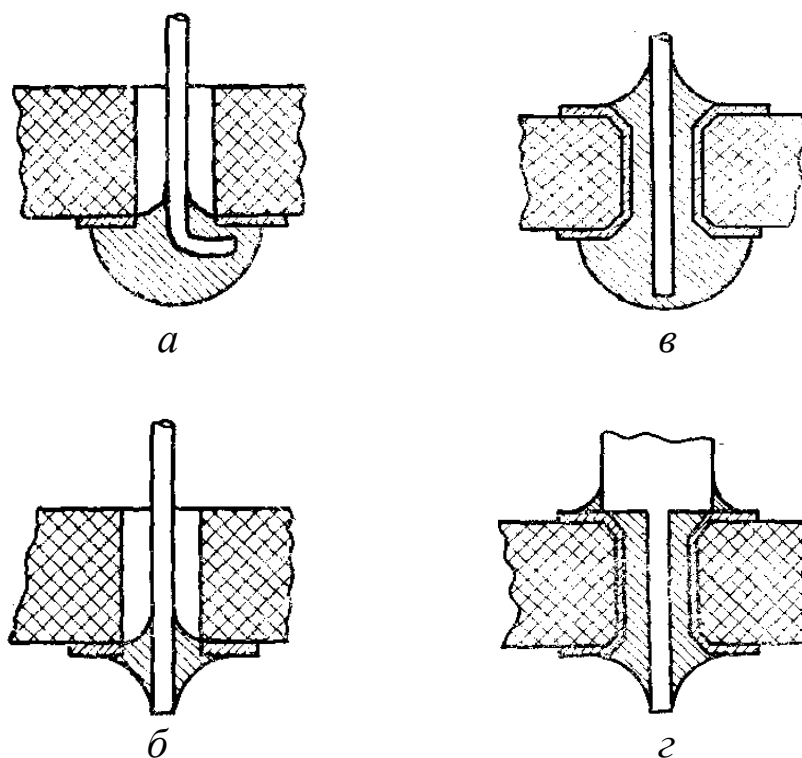


Рисунок 5.1 – Типы монтажных соединений: *а, в* – соединение с заливной формой пайки штырьковых выводов навесных элементов; *б, г* – соединение со скелетной формой пайки штырьковых выводов

При слишком малых зазорах припой из-за своей вязкости не успевает подняться вверх на всю глубину металлизированного отверстия платы (рисунок 5.1, *а, б*). При слишком больших зазорах он может вытекать на обратной стороне платы (рисунок 5.1, *в*).

При монтаже на плату элементов со штырьковыми выводами, а также при лужении токопроводящих дорожек и контактных площадок важным требованием является отсутствие напылав припоя, закорачивающих соседние проводники. Исходя из этого требования, для каждого метода пайки ГОСТом установлены допуски на размеры проводников, выводов, отверстий, контактных площадок (допуски лимитируются также технологическим процессом изготовления печатных плат).

Рассмотрим в данном аспекте конструктивные и технологические особенности методов групповой пайки.

5.1.2 Пайка погружением в расплавленный припой

Метод пайки погружением в расплавленный припой нашел применение при изготовлении изделий с большой протяженностью и большим числом паяных швов.

Процесс пайки погружением производится на установках, состав которых можно показать схематично на примере установки для пайки навесных элементов на печатных платах (рисунок 5.2). Ванна с припоем 2 размещается в соляной ванне 7, электронагреватель 6 которой связан с терморегулятором (на рисунке 5.2 не показан), автоматически поддерживающим требуемую температуру припоя. Соляная ванна стабилизирует тепловой баланс.

Перед пайкой плату 4 закрепляют в горизонтальном положении в приспособлении 5, а затем с помощью рычага 9 каретку 10 вместе с вибрационной головкой и приспособлением перемещают вдоль направляющих 11 и устанавливают над ванной для флюсования 1.

После погружения платы во флюс на глубину не более $(0,7 \div 0,8)$ её толщины включают вибратор 8. Амплитуда вибрации устанавливается для каждого типоразмера плат в пределах такого максимального значения, при котором не происходит разбрызгивания флюса на навесные элементы. Через несколько секунд плату с помощью рычага головки извлекают из ванны и, не выключая вибратор, удаляют с нее излишки флюса. Затем вибратор выключают и устанавливают приспособление с платой над ванной с расплавленным припоем. Повторив те же приемы, плату погружают в припой, поверхность которого предварительно очищают от окисной пленки. После погружения платы в припой включают вибратор. Амплитуда вибрации для каждого типа плат устанавливается такой, чтобы не происходил выброс капель припоя через отверстия платы. Выдержка платы в ванне длится до появления припоя в верхней части всех отверстий и запайки выводов навесных элементов.

При использовании оловянно-свинцового припоя эвтектического состава ПОС 61, обладающего наилучшей жидкотекучестью и наименьшей температурой плавления (183°C), время выдержки платы в ванне при температуре нагрева до $(240 \div 250)^{\circ}\text{C}$ составляет от 6 до 10 секунд. По окончании пайки плату извлекают из припоя и, не выключая вибратор, выдерживают над ванной несколько секунд,

чтобы не было наплывов, и в местах пайки припой принял полусферическую форму. Затем вибратор плавно выключают и головку с платой устанавливают над ванной с горячей проточной водой, погружают на глубину, исключающую попадание воды на навесные детали. По времени отмывка флюса занимает от 2 до 4 минут. Сушка готовых плат производится в сушильном шкафу при температуре 60 °С в течение не более одного часа.

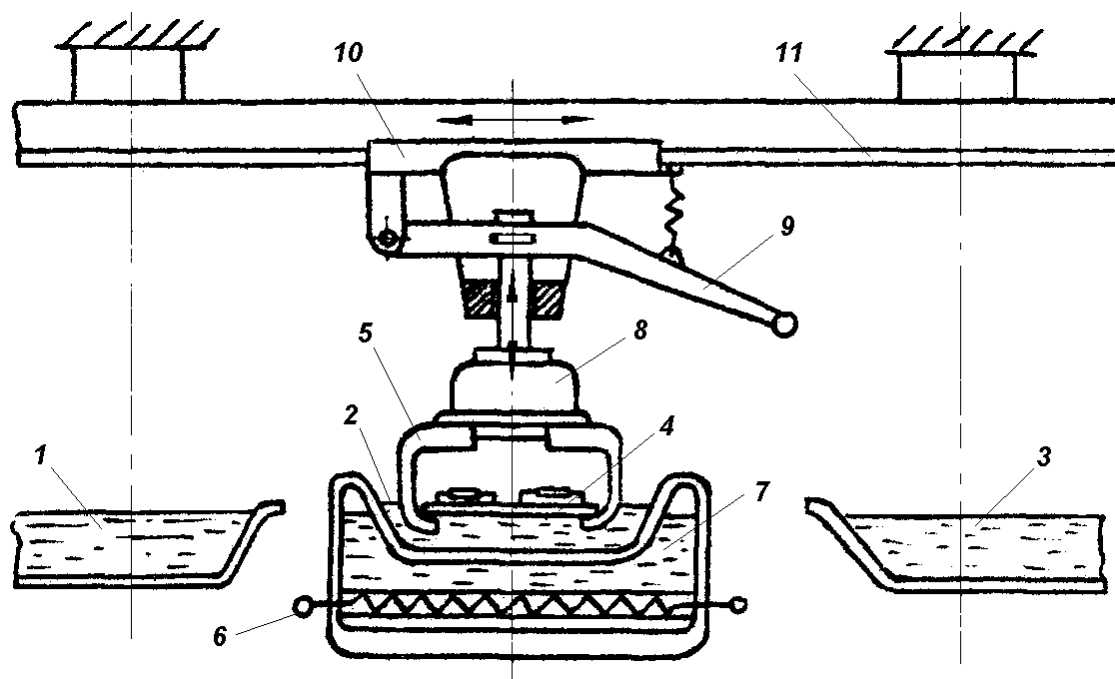


Рисунок 5.2 – Схема установки для пайки погружением: 1 – ванна с флюсом; 2 – ванна с припоем; 3 – ванна для отмывки маски и остатков флюса; 4 – плата; 5 – приспособление для крепления платы; 6 – электронагреватель; 7 – соляная ванна; 8 – вибратор; 9 – рычаг; 10 – каретка; 11 – направляющие каретки

Ванны для пайки погружением в расплавленные оловянно-свинцовые припои очень часто используют для облуживания токопроводящих дорожек, контактных площадок, металлизированных отверстий. Лужение печатных плат сопровождается встряхиванием для удаления припоя из отверстий и наплывов.

Ванны используют также для лужения выводов микросхем, радиодеталей и проволоки. Иногда лужение проводов совмещают с операцией снятия изоляции. Во всех случаях выбирают соответствующую марку флюса, припоя и режим нагрева.

Метод пайки (лужения) погружением в расплавленные припой имеют целый ряд серьезных недостатков, в одних случаях исключая возможность его применения, а в других требующих дополнительных мер. Основным из недостатков является статичность ванн, приводящая к интенсивному окислению поверхности жидкого припоя и, как следствие, отсутствию условий для хорошей смачиваемости элементов при пайке и лужении.

Этот недостаток устраняется двумя приемами: технологическим и конструктивным. Первый заключается в том, что для защиты от окисления зеркало припоя перед погружением платы (детали) посыпают хлористым аммонием. При втором (рисунок 5.3) – к приспособлению 2 с платой 1 крепят кожух в форме бункера 3, имеющего в нижней части щель для доступа припоя. При погружении в припой кожух, словно ледокол, раздвигает загрязненный и окисленный поверхностный слой 4, а из глубины ванны 5 вовнутрь кожуха через щель поступает чистый припой.

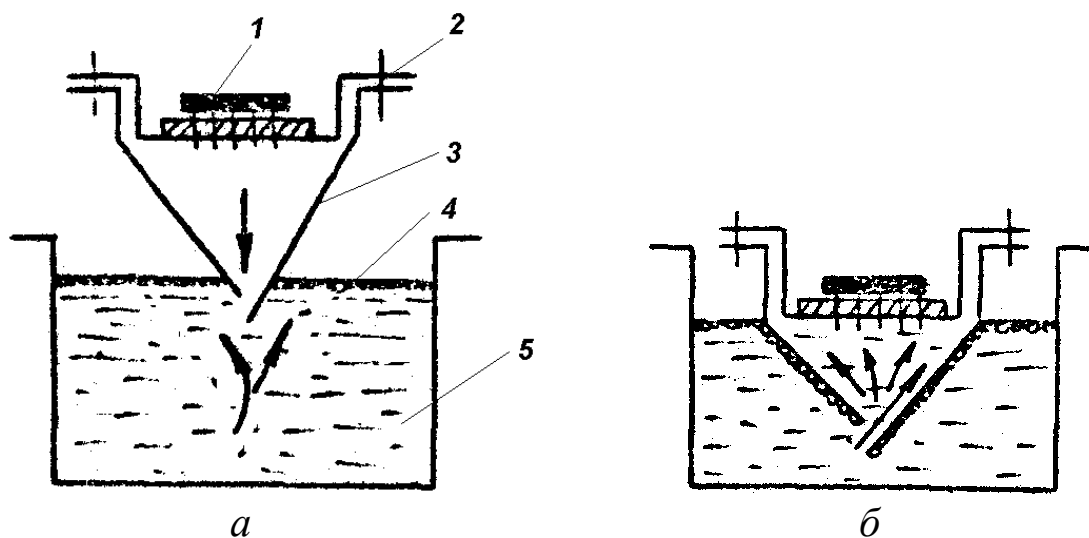


Рисунок 5.3 – Пайка погружением с удалением шлака: *а* – начало погружения; *б* – положение изделия в момент пайки

Другим недостатком процесса пайки погружением в ванну является постоянное растворение в припое меди, цинка, железа и др. химических элементов паяемых материалов. Это приводит не только к повышению температуры плавления припоя, но и к ухудшению качества пайки.

Серьезным недостатком, присущим только данному методу, является повышенное коробление платы из-за термических напряжений при одновременном нагреве различных её участков. Это ограничивает максимальный размер платы до 150 мм и соотношение сторон до 1 : 2.

Перечисленные недостатки значительно в меньшей степени проявляются при более прогрессивном методе – пайке волной припоя.

5.1.3 Пайка волной припоя

Сущность данного метода (рисунок 5.4) заключается в том, что, плата 1, подлежащая пайке, с постоянной скоростью перемещается по гребню волны расплавленного припоя 2. Волна припоя образуется над зеркалом ванны 5 в результате принудительной подачи припоя через специальное сопловое устройство насосом 3.

Непрерывное движение конвейера с паяемой платой явилось предпосылкой создания автоматизированных линий производства печатных плат, включающих в себя полный комплекс операций технологического цикла: установку элементов на плату, обезжиривание, флюсование, подогрев, пайку, отмывку от флюса и сушку.

Метод пайки волной припоя, по сравнению с погружением, имеет ряд достоинств:

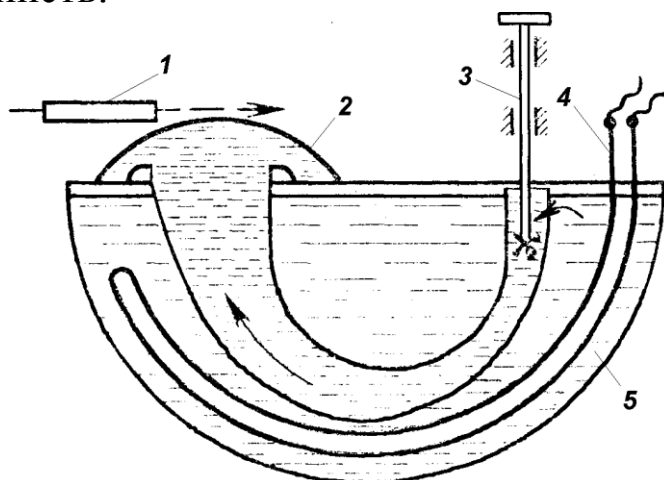


Рисунок 5.4 – Схема пайки волной припоя: 1 – печатная плата с навесным монтажом; 2 – волна припоя; 3 – нагнетательный насос; 4 – нагреватель; 5 – ванна с припоем

- гребень волны припоя (как и флюса) значительно возвышается над уровнем зеркала ванны, в результате чего траектория движения платы не меняет своего направления и всё время остается прямолинейной, что существенно упрощает конструкцию установки;
- габариты плат не связаны с площадью зеркала припоя, поэтому в одной и той же ванне при наличии сменных сопел на выходе нагнетательного насоса можно выполнять пайку плат различных размеров;
- подача припоя в сопло происходит не с поверхности, а из глубины ванны, поэтому зеркало припоя на гребне волны свободно от загрязнений и окисных пленок, которые не успевают образовываться. В отличие от данного способа, при пайке погружением очистка зеркала припоя от шлаков должна производиться перед пайкой каждой платы, что усложняет процесс;
- непрерывное перемещение припоя на гребне волны создает условия для свободного выделения газообразных продуктов разложения флюса, исключает образование газовых раковин;
- уменьшается степень коробления плат, так как соприкосновение их с припоем идет не по всей площади одновременно, а лишь последовательно отдельными зонами;
- высокая разрешающая способность метода позволяет без наплывов и перемычек паять платы с малой шириной зазора между печатными проводниками, составляющей $(0,15 \div 0,25)$ мм.

Для увеличения разрешающей способности некоторые зарубежные фирмы используют подачу внутрь ванны или на гребень волны жидкотекучего растительного масла, которое снижает поверхностное натяжение. Применение масла не ухудшает паяемости.

Степень использования перечисленных достоинств пайки волной припоя в каждом конкретном случае её применения во многом зависит от конструктивного исполнения оборудования.

В связи с широкой номенклатурой изделий электронной техники, большим многообразием конструкций, подвергаемых пайке, в промышленности применяется специализированное оборудование, которое обычно проектируется и изготавливается самим предприятием, выпускающим электронную технику. Оборудование комплектуется из отдельных блоков, соединенных общим транспортирующим

устройством. Каждый из блоков выполняет свою операцию и может работать самостоятельно. В последовательности выполнения операций технологического цикла в состав оборудования входят:

- блок флюсования;
- блок предварительного подогрева платы (рефлектором, ТЭНом, инфракрасными лампами, горячим воздухом);
- блок создания волны припоя, включающий систему подачи припоя, сопло для формирования волны и ванну с припоем;
- блок очистки от флюса;
- блок сушки плат после очистки;
- транспортная система;
- система управления синхронной работой оборудования.

В блоке создания волны припоя нашли применение два способа:

- магнитный способ, основанный на использовании ванны как магнитопровода. Прохождение тока в обмотке магнитопровода индуцирует ток в припое и приводит к выбросу жидкого металла в сопло. Основной недостаток этого способа – неравномерность выброса припоя;
- механический способ (наиболее распространенный), при котором волна расплавленного припоя образуется насосом поршневого, шнекового или турбинного типа.

5.1.4 Описание конструкции и принципа действия лабораторного стенда для пайки волной припоя

Лабораторная установка состоит (рисунок 5.5) из корпуса 1, ванны 2 и камеры 3, сообщающихся друг с другом и заполненных припоем, нагревателя 4, электродвигателя 5 со штоком 6, на торце которого имеется крыльчатка. Узлы 5 и 6 выполняют функции насоса для нагнетания припоя из ванны в камеру и создания гребня волны припоя над камерой.

Между ванной припоя и корпусом находится асбест 7, создающий теплоизоляцию. Подвод электрического напряжения к двигателю и нагревателю осуществляется через соответствующие клеммы 8. Питание двигателя осуществляется через автотрансформатор, слу-

жащий для регулирования скорости вращения вала двигателя и, соответственно, высоты волны припоя.

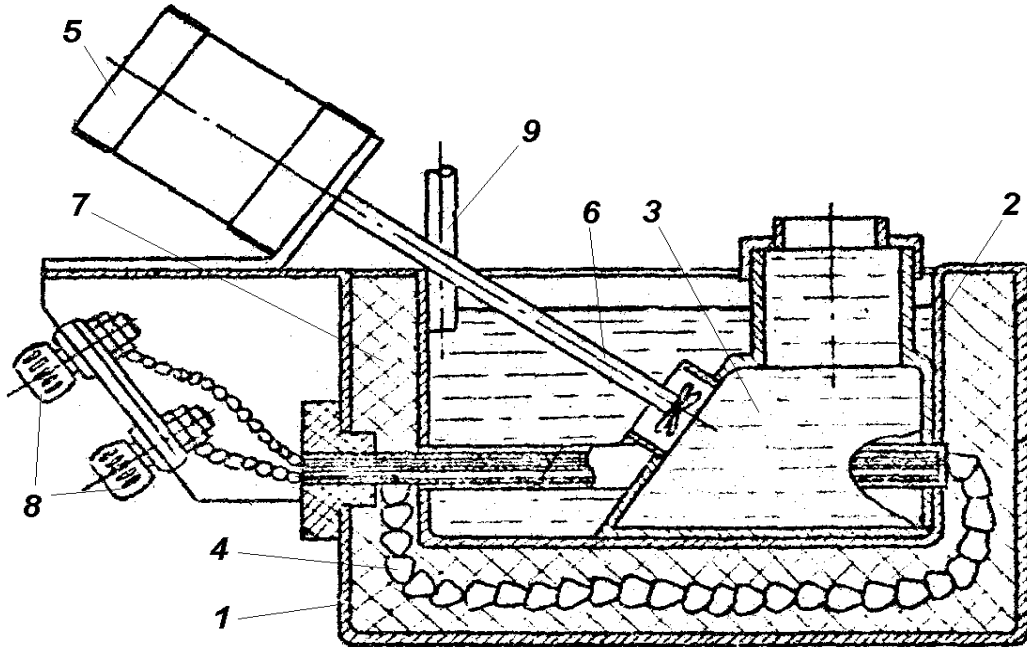


Рисунок 5.5 – Конструкция лабораторной установки для пайки волной припоя:
 1 – корпус; 2 – ванна; 3 – камера; 4 – нагреватель; 5 – электродвигатель; 6 — шток с крыльчаткой; 7 – асбестовый наполнитель; 8 – клеммы нагревателя; 9 – датчик температуры

Измерение, регулирование и поддержание заданной температуры нагрева припоя осуществляется логометром (на схеме не показан) в комплекте с датчиком температуры.

Электрическая схема лабораторной установки показана на рисунке 5.6. Установка работает следующим образом.

Включением тумблера *SA1* «СЕТЬ» напряжение питающей сети подается на логометр и, через нормально-замкнутые контакты *KM1:1* и *KM1:2* пускателя *KM1*, на нагреватель *EK1*. При этом загораются неоновые лампочки сигнализации включения сетевого напряжения *HL1* «СЕТЬ» и включения нагревателя *HL2* «НАГРЕВ».

По достижении заданной по режиму пайки температуры нагрева припоя, которая предварительно устанавливается перемещением красной стрелки логометра Ш69006, срабатывает реле логометра *K2*, его нормально разомкнутые контакты *K2:1* замыкаются, и напряжение подается на обмотку пускателя *KM1*. Последний срабатывает, его

контакты $KM1:1$ и $KM1:2$ размыкаются, и цепь питания нагревателя $EK1$ разрывается, а лампочка $HL2$ гаснет. Нагрев припоя прекращается. Одновременно замыкается нормально-разомкнутый контакт $KM1:3$ пускателя $KM1$, и напряжение сети через выпрямитель $VD1$ - $VD4$ подается к системе включения насоса, о чем сигнализирует загорание лампочки $HL3$ «НАСОС».

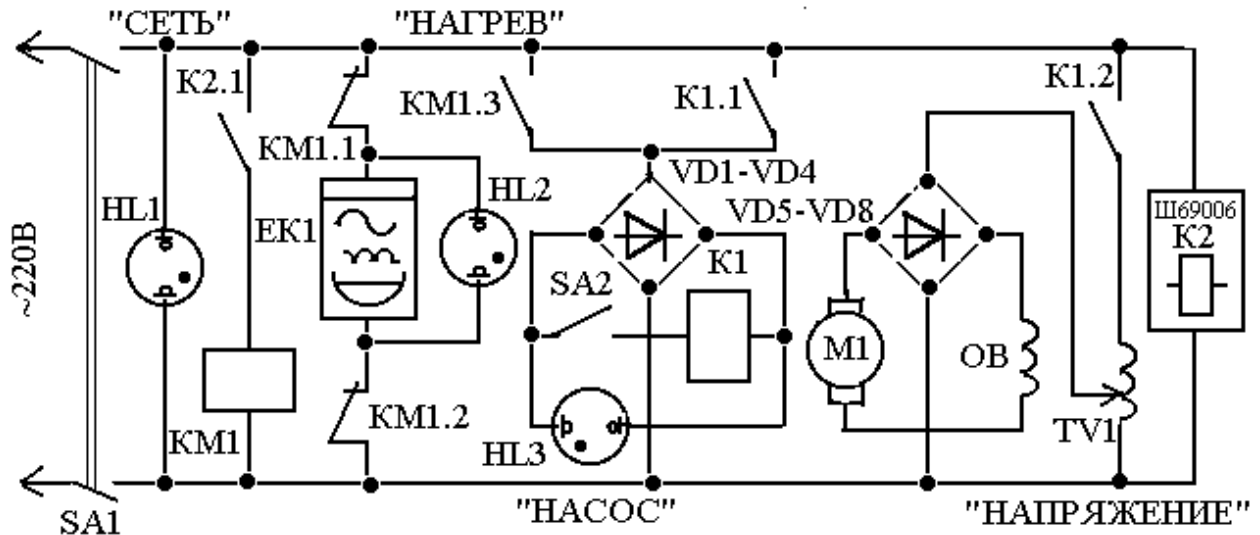


Рисунок 5.6 – Принципиальная схема лабораторной установки для пайки волной припоя

После нагрева припоя до расплавления включается тумблер $SA2$. При этом выпрямленное напряжение сети подается на обмотку реле $K1$, последнее срабатывает и, при замыкании своего нормально-разомкнутого контакта $K1:1$, блокирует контакты пускателя $KM1$. Одновременно замыкается нормально-разомкнутый контакт $K1:2$ и подключается к сети автотрансформатор $TV1$. Напряжение подается на электродвигатель насоса $M1$, от которого вращающейся крыльчаткой расплавленный припой перемещается и создает волну.

При остывании припоя до заданного уровня температуры контакты $K2:1$ реле $K2$ логометра размыкаются и цепь питания пускателя $KM1$ разрывается. Контакты последнего $KM1:1$ и $KM1:2$ замыкаются и напряжение вновь подается на нагреватель $EK1$, вновь загорается сигнальная лампа $HL2$ («НАГРЕВ»). Одновременно контакты пускателя $KM1:3$ размыкаются, но так как заблокированы контактами $K1:1$ реле $K1$, то напряжение питания на обмотку реле $K1$ подает-

ся и, через его замкнутые контакты $K1:2$, сохраняется в цепи питания двигателя насоса. Таким образом, электрическая схема установки обеспечивает поддержание температуры нагрева припоя в заданных пределах и исключает возможность включения двигателя при недостаточной температуре нагрева припоя.

5.2 Цель работы

Изучение конструктивных и технологических особенностей методов групповой пайки в освоение техники выполнения соединения на лабораторной установке для пайки волной припоя.

5.3 Оборудование и материалы

- 5.3.1 Лабораторная установка для пайки волной припоя.
- 5.3.2 Печатная плата с навесным монтажом.
- 5.3.3 Резисторы с нелужеными проволочными выводами.
- 5.3.4 Флюс типа ФКСп.
- 5.3.5 Паяльник электрический мощностью 40 Вт.
- 5.3.6 Припой ПОС 61.
- 5.3.7 Пинцет и плоскогубцы.
- 5.3.8 Растворитель.
- 5.3.9 Бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.
- 5.3.10 Лупа $\times(8\div 10)$.
- 5.3.11 Цифровой фотоаппарат.

5.4 Методика выполнения работы

5.4.1 Проанализировать конструктивные и технологические особенности методов монтажной групповой пайки, их достоинства и недостатки.

5.4.2 Ознакомиться с конструкцией и принципом действия лабораторной установки.

5.4.3 Подготовить лабораторную установку к включению:

- перед подключением установки к сети тумблеры SA1 «СЕТЬ» и SA2 «НАСОС» (рисунок 5.6) должны находиться в положении «ВЫКЛЮЧЕНО». Указатель маховика регулятора

«НАПРЯЖЕНИЕ» должен быть в нулевом положении. Датчик температуры должен контактировать с поверхностью припоя;

- установить сопло нагнетательного насоса с требуемой формой (по указанию преподавателя);
- проверить целостность соединительных проводов (нагревателя, электродвигателя, логометра Ш69006, блока управления и датчика температуры);
- подключить вилку шнура питания установки к электрической розетке.

5.4.4 Перевести тумблер SA1 в положение «ВКЛЮЧЕНО», при этом загораются лампочки-индикаторы «СЕТЬ» и «НАГРЕВ».

5.4.5 Установить красную стрелку логометра Ш69006 в положение, соответствующее требуемой температуре нагрева припоя (по указанию преподавателя).

5.4.6 Сфотографировать внешний вид печатной платы с навесными элементами и резисторы с нелужеными проволочными выводами.

5.4.7 После загорания лампочки-индикатора «НАСОС» (информирует о достижении заданной температуры нагрева припоя) включить тумблер SA2 «НАСОС».

5.4.8 Установить необходимую высоту волны припоя, медленно поворачивая маховик регулятора «НАПРЯЖЕНИЕ».

5.4.8 Выполнить монтаж на печатную плату навесных элементов, а также лужение проволочных выводов резисторов двумя методами:

- волной припоя;
- вручную электрическим паяльником.

5.4.9 Сравнить визуально с помощью лупы качество и производительность пайки навесных элементов на печатную плату и лужения проволочных выводов резисторов, выполненных различными методами, и дать оценку их эффективности.

5.4.10 После окончания работы на лабораторной установке необходимо вначале выключить тумблер «НАСОС», а затем – тумблер «СЕТЬ» и отключить вилку шнура питания от электрической розетки.

5.4.11 Сфотографировать внешний вид пайки навесных элементов на печатную плату и луженых проволочных выводов резисторов, выполненных волной припоя и электрическим паяльником.

5.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- фотоснимки внешнего вида печатной платы с навесными элементами и резисторов с нелужеными проволочными выводами;
- фотоснимки внешнего вида пайки навесных элементов на печатную плату и луженых проволочных выводов резисторов, выполненных волной припоя и электрическим паяльником;
- оценка качества пайки и лужения, выполненных различными методами, и анализ причин возможных дефектов;
- выводы по работе (рекомендации).

5.6 Контрольные вопросы

5.6.1 В чем сущность методов пайки погружением и волной припоя, каковы их достоинства и недостатки?

5.6.2 Перечислите последовательность основных операций процесса пайки волной припоя и их назначение.

5.6.3 Каковы устройство и принцип работы станда для пайки волной припоя?

5.6.4 Расскажите технику и технологию выполнения пайки волной припоя.

Лабораторная работа № 6. Изучение технологических основ проектирования паяных соединений

6.1 Общие сведения

6.1.1 Общие вопросы технологии пайки

В основу разработки технологии пайки принимаются требования к свойствам соединений, определяющиеся из условий работы паяных изделий. Требованиями может регламентироваться прочность при нормальной и повышенной температурах, герметичность паяного шва, коррозионная стойкость в различных средах, тепло- и электропроводность и др.

Одним из главных вопросов при разработке технологии является выбор системы и состава припоя и флюса.

При выборе припоя кроме прочностных и коррозионных характеристик учитывается его способность к взаимодействию с паяемым материалом и температурные границы процесса пайки. Нижней границей температуры пайки обычно служит температура плавления припоя, а верхней – допустимая температура нагрева паяемых материалов.

Особенности взаимодействия припоя с металлом и температурные границы пайки определяют выбор способа пайки.

С учетом этих факторов припои разделяют на две большие группы:

- низкотемпературные, пайка которых ведется при температуре нагрева паяемых деталей до 450 °С;
- высокотемпературные, пайка осуществляется при температуре нагрева свыше 450 °С.

К первой группе относятся припои оловянно-свинцовые (ПОС) и малосеребряные (ПСр с содержанием серебра не более 10%).

Высокотемпературными припоями являются медно-фосфорные (МФ), серебряные (ПСр с содержанием серебра более 10%) и др.

На практике нашли применение 16 типов припоев (оловянно-свинцовые, серебряные, медные и др.), каждый из которых насчитывает от 4 до 20 марок, отличающихся процентным содержанием элементов и, соответственно, свойствами и назначением.

К основным свойствам флюсов относят их химическую активность. Хотя флюс не участвует непосредственно в образовании связи припоя с металлом, его компоненты дважды вступают в химические реакции:

- перед взаимодействием припоя с металлом флюсы растворяют либо восстанавливают окисные и другие загрязняющие пленки, подготавливая чистую металлическую поверхность для пайки;
- при неполном удалении остатков активных флюсов после пайки они во время эксплуатации вызывают коррозионное действие.

В зависимости от температурного интервала активности паяльные флюсы разделяют на низкотемпературные (до 450 °С) и высокотемпературные (свыше 450 °С).

По природе вещества, определяющего действие флюса, низкотемпературные флюсы бывают канифольные, кислотные и др., а высокотемпературные – боридные, фторборатные, боридно-углекислые и др.

По природе растворителя различают флюсы водные и спиртовые.

По основному механизму действия флюсы бывают пассивные, т.е. только защищающие от окисления, и активные, не только защищающие, но и очищающие паяемые поверхности от окисной пленки.

В зависимости от способа пайки, характера производства (единичное, серийное, массовое), конструкции и размеров изделия и соединения флюсы могут использоваться в виде порошка, пасты или раствора, а также в газообразном виде.

В таблицах П4, П5 приведены характеристики и рекомендации по применению некоторых флюсов, получивших широкое распространение в практике пайки различных металлов.

Достаточно широко, особенно в радиоэлектронной промышленности, используют пайку в водороде или его смесях с азотом и аргоном при пониженном содержании водорода. В настоящее время в практике нашли применение более 30 марок различных флюсов, в том числе и газообразных.

Подготовка деталей к пайке включает следующие операции:

- механическую обработку и очистку поверхности деталей;
- сборку деталей;

- укладку припоя.

Механическую обработку деталей часто производят с целью обеспечения зазоров требуемой величины при последующей сборке, реже – для удаления окисных плёнок.

Очистка поверхности деталей обычно заключается в обезжиривании ее путем протирки органическими растворителями: спиртом, бензином, ацетоном, четырёххлористым углеродом, дихлорэтаном и др. При массовом производстве для обезжиривания поверхностей используют обработку в ваннах различных составов. Для этих целей в практике нашли применение ванны щелочных составов и ванны для электрохимического и ультразвукового обезжиривания.

При сборке деталей под пайку необходимо выполнить два условия:

- обеспечить требуемое взаимное расположение деталей и зафиксировать их в этом положении, исключив возможность их случайного смещения в процессе пайки;
- выдержать определенные соединительные зазоры (см. таблицу Пб) между деталями в собранном состоянии.

Эти задачи решаются применением приспособлений соответствующей конструкции. К конструкции приспособлений предъявляются следующие основные требования:

- с целью уменьшения теплоотвода площадь контакта приспособления с паяемыми деталями и его масса должны быть минимально возможными. Это особенно важно при общем нагреве деталей в печах;
- при пайке с местным нагревом деталей зажимы приспособления должны быть выведены из зоны нагрева источником тепла. Это учитывается всегда при проектировании приспособлений для пайки высокочастотным нагревом;
- при изготовлении приспособлений и паяемых деталей из разных материалов должны быть учтены коэффициенты линейного теплового расширения;
- при пайке нахлесточных соединений, особенно телескопических, приспособление должно обеспечить одинаковый зазор между деталями.

6.1.2 Конструирование паяных соединений

Для получения высокого качества паяных соединений необходимо правильно конструировать соединяемые детали, обеспечивать нужный зазор, допустимую величину нахлестки, удобную укладку припоя и его фиксацию.

Наиболее распространенным типом соединения является соединение внахлестку. Оно обеспечивает наибольшую прочность, не требует дополнительных подгоночных операций, удобно для выполнения.

Равнопрочность паяных нахлесточных швов с основным металлом достигается изменением длины нахлестки

$$l = \frac{S}{b} \frac{[\sigma]_p}{[\tau]_{cp}}, \quad (6.1)$$

где S – площадь поперечного сечения паяемого элемента;

$[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение паяного шва при растяжении;

b – ширина соединяемых элементов;

$[\tau]_{cp}$ – допускаемое напряжение при срезе паяного шва.

Исходя из условия равнопрочности при пайке высокотемпературными припоями, рекомендуемая длина нахлестки должна составлять до трех толщин соединяемых деталей, а при пайке низкотемпературными припоями, вследствие малой прочности припоя, – до пяти толщин. Увеличение длины нахлестки сверх этих пределов сопровождается повышением массы паяемых узлов и деталей, а прочность соединений практически не растет. К тому же пайка больших площадей, особенно при наличии остатков флюса, повышает количество дефектов.

Стыковые и тавровые соединения встречаются редко, они не характерны для пайки.

Телескопические соединения применяют для пайки трубчатых и стержневых конструкций. В таких соединениях длина нахлестки определяется при растягивающих усилиях из соотношения:

$$l = \frac{S \sigma_{\text{п}}}{2\pi R \sigma_{\text{сп}}}, \quad (6.2)$$

где R – радиус трубчатого элемента.

Одним из решающих факторов, влияющих на прочность и герметичность телескопического соединения, является величина технологического сборочного зазора. Для каждого конкретного случая пайки (свойств паяемого металла, припоя, флюса, температуры и времени пайки и др. факторов) имеется свой оптимальный зазор, при увеличении или уменьшении которого прочность соединения падает. Оптимальную величину зазора обычно определяют опытным путем.

6.2 Цель работы

Изучить технологические основы проектирования паяных соединений, установить зависимость прочности паяного соединения от величины нахлестки.

6.3 Оборудование и материалы

6.3.1 Электрический паяльник мощностью 90 Вт.

6.3.2 Разрывная машина РТ-250М.

6.3.3 Заготовки пластинок из низкоуглеродистой стали размером 50×8 мм, толщиной (0,8÷1,0) мм в количестве 16 штук.

6.3.4 Припой ПОС 40.

6.3.5 Флюс для низкотемпературной пайки – 50%-ный водный раствор хлористого цинка, пипетка для флюса.

6.3.6 Ацетон технический.

6.3.7 Наждачная бумага, бязь хлопчатобумажная, фильтровальная бумага.

6.3.8 Инструменты (напильник плоский с мелкой насечкой, плоскогубцы, штангенциркуль, набор маркеров, молоток, тиски, металлическая линейка, чертилка).

6.3.9 Цифровой фотоаппарат.

6.4 Методика выполнения работы

6.4.1 Все пластинки попарно промаркировать одинаковым номером, соответствующим номеру опыта (таблица 6.1). Маркировка наносится маркерами по центру пластинок.

6.4.2 Пластинки должны быть тщательно отшлифованы и обработаны напильником, чтобы не иметь по краям заусенцев.

6.4.3 Поверхности соединяемых концов пластинок с одной стороны, на длине несколько превышающей величину будущей нахлестки, тщательно зачистить наждачной бумагой (поверхности пластинок, предназначенных для пайки встык, не обрабатывать). Обработать поверхности техническим ацетоном.

6.4.4 Обработанные поверхности пластинок на длине, несколько превышающей величину будущей нахлестки, залудить (на пластинках, предназначенных для пайки встык, залудить только торцы).

6.4.5 На луженой поверхности пластинки (одной из каждой пары) с помощью штангенциркуля, металлической линейки и чертилки нанести риску, соответствующую требуемой величине нахлестки (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Форма записи результатов исследований

№ образца	Величина нахлестки, мм	Прочность соединения, даН	
		образца	средняя
1	встык		
2	встык		
3	2		
4	2		
5	4		
6	4		
7	6		
8	6		

6.4.6 На луженые поверхности пластинок нанести пипеткой каплю флюса.

6.4.7 Наложив попарно друг на друга лужеными поверхностями пластинки с требуемой величиной нахлестки, произвести пайку каждого соединения. Во время нагрева жало паяльника необходимо плотно прижимать к верхнему образцу по всей площади нахлестки до тех пор, пока из зазора между пластинками не появится жидкий припой.

6.4.8 Провести испытание каждого паяного соединения на срез на разрывной машине РТ-250М, результаты испытаний занести в табл. 6.1. При разрушении образцов следует обратить внимание на поверхность нахлестки. Указать вид разрушения образца (по паяному шву или по основному металлу).

6.4.9 Сфотографировать поверхности деталей в местах зоны пайки после разрушения образцов.

6.4.10 Построить зависимость прочности паяного соединения от величины нахлестки.

6.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- методику выполнения работы;
- таблицу результатов исследований;
- фотоснимки поверхности пластин в местах зоны пайки после разрушения образцов;
- графики зависимости прочности паяного соединения от величины нахлестки;
- выводы по работе.

6.6 Контрольные вопросы

6.6.1. Назовите марки припоев, предназначенных для низкотемпературной пайки. Дайте характеристику припоям различного типа.

6.6.2 Назовите марки флюсов, предназначенных для низкотемпературной пайки. Дайте характеристику флюсам различного типа.

6.6.3 В чем заключается особенность подготовки деталей к пайке?

6.6.4 Перечислите требования, предъявляемые к сборке деталей под пайку.

6.6.5 Перечислите требования, предъявляемые к конструкции приспособлений, используемых для сборки деталей под пайку.

6.6.6 Объясните характер зависимости прочности паяного соединения от величины нахлестки.

6.6.7 Как повысить прочность паяного соединения, если увеличение нахлестки не дает желаемых результатов?

Список использованных источников

1. Специальные методы сварки и пайки: Учеб. для ср. спец. учеб. зав. / В.В. Пешков и др.; Под ред. В.А. Фролова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 184 с.

2. Технологические основы сварки и пайки в авиастроении: Учеб. для вузов / В.А. Фролов, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский, В.А. Казаков. – М.: Изд-во «Интермет Инжиниринг», 2002. – 456 с.

3. Лабораторный практикум по курсу «Технологические основы сварки и пайки в авиастроении»: Учеб. пособие / В.А. Саликов, М.Н. Шушпанов, В.В. Пешков, А.Б. Коломенский, В.А. Фролов, В.А. Казаков. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2004. – 311 с.

4. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

5. Краткий справочник паяльщика / И.Е. Петрунин, И.Ю. Маркова, Л.Л. Гржимальский и др.; Под общ. ред. И.Е. Петрунина. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.

6. Проектирование технологии пайки металлических изделий: Справочник / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко, И.Г. Нагапетян и др. – М.: Металлургия, 1976. – 264 с.

7. Подлесных В.Г. Пайка изделий электронной техники. – М.: МИЭМ, 1983. – 74 с.

8. Кузнецов А.А., Почалов А.И. Прочность паяных соединений. – М.: Машиностроение, 1987. – 112 с.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

Приступая к выполнению лабораторных работ по пайке, каждый студент обязан изучить необходимые инструкции по технике безопасности, пройти инструктаж и расписаться в соответствующем журнале.

Непосредственно перед лабораторной работой и в процессе ее выполнения необходимо соблюдать следующие основные правила безопасности:

- Неправильная эксплуатация электрооборудования может привести к поражению электрическим током.
- Большинство установок, применяемых для пайки, содержат источники энергии, полностью или частично находящиеся под напряжением во время работы, поэтому работу на установках можно проводить только при наличии заземления. Включение установок следует производить с разрешения преподавателя или учебного мастера.
- Включение собранных электрических схем для исследования производится только с разрешения преподавателя или учебного мастера.
- Все изменения в схемах следует производить только после отключения от электрической сети.
- В перерывах в работе обязательно отключать электрооборудование от питающей электрической сети.
- Источники, применяемые при различных способах пайки и лужения, обеспечивают нагрев паяемых деталей и припоя до высокой температуры, поэтому неправильная эксплуатация оборудования для пайки может привести к ожогам.
- Несоблюдение мер безопасности при пайке и лужении может привести к попаданию капель расплавленного припоя, флюсов и продуктов их реакции с паяемым металлом и припоем на открытые участки тела и одежду.
- При механических испытаниях установку и съем образцов необходимо выполнять при полностью отключенном механизме нагружения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1 – Химический состав, температура плавления и область применения оловянно-свинцовых припоев

Марка припоя	Температура, °С		Химический состав, % (Pb – остальное)		Область применения
	солидус	ликвидус	Sn	Sb	
Бессурьмянистые					
ПОС 90	183	220	89÷91	-	Лужение и пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры
ПОС 61	183	190	60÷62	-	Лужение и пайка электро-и радиоаппаратуры, печатных схем, приборов, где недопустим перегрев
ПОС 40	183	238	39÷41	-	Лужение и пайка электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами
ПОС 10	268	299	9÷11	-	Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле
Малосурьмянистые					
ПОССу 61-05	183	189	60÷62	0,2÷0,5	Лужение и пайка электроаппаратуры обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей
ПОССу 40-05	183	235	39÷41		Лужение и пайка белой жести, обмоток электрических машин, пайка оцинкованных деталей
ПОССу 30-05	183	255	29÷31		Лужение и пайка листового цинка, радиаторов
ПОССу 25-05	183	266	24÷26		Лужение и пайка радиаторов
Сурьмянистые					
ПОССу 40-2	185	229	39÷41	1,5÷2,0	Лужение и пайка холодильных устройств, припой широкого назначения
ПОССу 30-2	185	250	29÷31		Лужение и пайка в холодильном аппаратостроении
ПОССу 25-2	185	260	24÷26		Пайка в автомобильной промышленности
ПОССу 5-1	275	308	4÷5	0,5÷1,0	Лужение и пайка деталей, работающих при повышенных температурах

Таблица П2 – Химический состав и температура плавления малосеребряных припоев

Марка припоя	Химический состав, %				Температура, °С	
	Sn	Pb	Ag	Cd	солидус	ликвидус
ПСр2	30	63	2,0	5,0	235	238
ПСр3	-	97	3,0	-	304	315

Таблица П3 – Химический состав и температура плавления медных и серебряных припоев

Марка припоя	Химический состав, %							Примеси (не более)	Температура, °С	
	Cu	Zn	P	Ag	Sn	Si	Ni		солидус	ликвидус
Медно-цинковые										
ПМЦ36	34÷38	остальное						0,6	800	825
ЛК62-05	60,5÷63,5					0,5÷0,7		0,3	-	905
ПМЦ54	54÷59							0,6	876	880
ЛОК62-06-04	60,5÷ 63,5				0,4÷0,6	0,3÷0,4		0,3	900	905
Л63	60,5÷ 63,5							0,23	900	905
Л 68	67÷70							0,13	910	940
МЦН48-10	46÷50						9÷10		-	935
ЛКН56-03-6	55÷57,5					0,25÷0,3	5,5÷6,0		-	905
Медно-фосфорные										
МФ1	остальное		8,5÷10					0,4	714	850
МФ2			8,5÷10					0,8	714	850
МФ3			7÷8,5					1,0	714	850
МФОЦ7-3-2		1÷3	5÷7		2,5÷3,5			1,0	680	700
Серебряные										
ПСр 15	остальное		4,5÷5,1	14,5÷15,5				0,3	640	810
ПСр 40	16÷17,4	16,2÷17,8		39÷41	Cd остальное		0,1÷0,5	0,3	590	610
ПСр 50	остальное			49,5÷50,5				0,15	779	860
ПСр 72	остальное			71,5÷72,5				0,15	779	779

Таблица П4 – Состав и характеристика флюсов для низкотемпературной пайки черных и цветных металлов

Компонента	Содержание (массовая доля), %	Температурный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
<u>Флюс Прима 2</u>			
Хлористый цинк	50	290÷350	Пайка углеродистых и низколегированных сталей, меди, никеля и их сплавов
Вода	50		
Хлористый цинк	48	150÷320	
Хлористый аммоний	12		
Вода	40		
Хлористый аммоний	4	150÷400	Пайка сплавов меди и железа
Хлористый цинк	6		
Соляная кислота	5		
Вода	85		
30—40%-ный водный раствор хлористого цинка	2*	180÷330	Пайка коррозионностойких сталей типа 12Х18Н9Т
Соляная кислота	1*		
<u>Флюс ЗИЛ1</u>			
Цинк хлористый	40	—	Пайка стали, железа, чугуна (припой с большим содержанием свинца)
Олово двуххлористое	5		
Медь хлорная	0,5		
Кислота соляная	3,5		
Вода	51		
<u>Флюс ФКСп</u>			
Канифоль	30	150÷300	Пайка меди припоями с содержанием олова 30%; для пайки латуней и бронз менее эффективен
Спирт этиловый	70		
Канифоль	24	180÷300	
Стеарин	1		
Спирт этиловый	75		
<u>Флюс ЛМ-1</u>			
Ортофосфорная кислота (плотн. 1,6—1,7)	32	200÷240	Пайка хромоникелевых, коррозионностойких сталей припоями с содержанием олова 30%; для пайки меди и ее сплавов не рекомендуется
Канифоль	6		
Спирт этиловый или этиленгликоль	62		
<u>Флюс ЛК-2</u>			
Хлористый аммоний	1	200÷360	
Хлористый цинк	3		
Канифоль	30		
Спирт этиловый	66		
Канифоль	22	200÷350	Пайка меди, латуни и оцинкованного железа
Анилин солянокислый	2		
Спирт этиловый	76		

Продолжение таблицы П4

Компонента	Содержание (массовая доля), %	Температурный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Вазелин технический Канифоль Глицерин Хлористый цинк Парафин	45 30 15 6 4	180÷300	Пайка медных электротехнических приборов, флюс-паста
<u>Флюс ВТС</u> Вазелин Салициловая кислота Триэтаноламин Спирт этиловый	70 10 10 10	180÷300	Пайка меди, серебра, золота и их сплавов
Глицерин Гидразин солянокислый Вода	35 5 60	250÷350	Пайка меди и ее сплавов, никеля, серебра, углеродистых сталей
<u>Флюс Ф10</u> Вода Глицерин Хлористая медь Хлористое олово	47 47,9 0,1 5,0	200÷300	Пайка углеродистых сталей
<u>Флюс Ф16</u> Вода Хлористый кадмий Глицерин Хлористое олово	40 10 40 10	200÷290	
Вода Глицерин Хлористое олово Хлористый кадмий Соляная кислота	41 40 5 10 4	200÷300	Пайка сталей
<u>Флюс 38М</u> Этиленгликоль или глицерин (или их смесь 1:1) Диэтиламин солянокислый Ортофосфорная кислота	50 25 25	350	Пайка нихрома, бериллиевой бронзы, константана, коррозионностойкой стали
<u>Флюс Прима 1</u> Хлористый цинк Глицерин Хлористый аммоний Метиловый спирт Вода	7,3 60 2,7 1 Остальное	150÷400	Пайка меди и ее сплавов и металлов платиновой группы
<u>Паста Нисо</u> Глицерин Вазелин Хлористый цинк	5 80 15	200÷360	Пайка меди

Продолжение таблицы П4

Компонента	Содержание (массовая доля), %	Температурный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
<u>Флюс 54А</u> Триэтаноламин Фторборат кадмия Фторборат аммония	82 10 8	150÷320	Пайка алюминиевой и сплава АМц с медью и сталью припоями на основе сплава олово-цинк и цинк-кадмий
<u>Флюс ФДФс</u> Диэтиламин солянокислый Этиленгликоль Кислота ортофосфорная	20÷25 60÷60 20÷26	200÷400	Сталь, нихром, ковар, медь и её сплавы припоями ПОС
<u>Флюс ЛТИ-120</u> Канифоль Диэтиламин Солянокислый триэтиламин Спирт этиловый	20÷25 3,0÷5,0 1,0÷2,0 76÷68	160÷350	Сталь, оцинкованная сталь, цинк, серебро, медь и ее сплавы
* Массовые доли.			

Таблица П5 – Состав и характеристика флюсов для высокотемпературной пайки черных и цветных металлов и сплавов на их основе

Компонента	Содержание (массовая доля), %	Температурный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
<u>Флюс ПВ200</u> Бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) Оксид бора (B_2O_3) Фтористый кальций (CaF_2)	18÷20 65÷67 14÷16	800÷1200	Пайка коррозионностойких и конструкционных сталей, жаропрочных сплавов
<u>Флюс ПВ201</u> Бура Оксид бора Фтористый кальций Лигатура (Al — 48%, Si — 48%, Mg — 4%)	11÷13 76÷78 9,5÷10,5 0,9÷1,1	800÷1200	Пайка коррозионностойких и конструкционных сталей, жаропрочных сплавов высоко- и среднеплавкими припоями
<u>Флюс ПВ209</u> Калий фтористый Оксид бора Тетрафторборат калия (KBF_4)	41÷43 34÷36 22÷24	700÷900	Пайка коррозионностойких и конструкционных сталей

Продолжение таблицы П5

Компонента	Содержание (массовая доля), %	Температурный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
<u>Флюс ПВ284</u> Борная кислота Гидрат окиси калия Фтористоводородная кислота	29÷31 25÷27 43÷45	700÷900	Пайка коррозионностойких и конструкционных сталей, ме- ди и медных сплавов средне- плавкими припоями
<u>Флюс 18В</u> Фтористый калий (обезвоженный) Борная кислота	40 60	550÷850	Пайка сталей, никелевых, медных сплавов серебряными припоями
<u>Флюс 16ВК</u> Хлористый калий Хлористый литий Хлористый натрий Фтористый калий Фтористый алюминий	45 35 10 5 5	580÷620	Пайка алюминия и его спла- вов припоями на алюмиение- вой основе

Таблица П6 – Зазоры, применяемые при пайке

Основной металл	Припой	Зазор, мм
Углеродистая сталь	Медь	0,05÷0,10
	Латунь	0,05÷0,30
	Серебряные	0,05÷0,15
Коррозионно-стойкая сталь	Медь	0,02÷0,15
	Латунь	0,05÷0,30
	Серебряные	0,05÷0,15
	Никель-хромовые	0,05÷0,20
Медь и медные сплавы	Медно-цинковые	0,10÷0,30
	Медно-фосфористые	0,02÷0,15
	Серебряные	0,03÷0,15
Титан	Серебро	0,05÷0,10
	Серебряно-марганцевые	0,05÷0,1
Алюминий	На алюминиевой основе	0,10÷0,30

П р и м е ч а н и е . Припои на железной основе обеспечивают равнопрочность соединения при значительно больших зазорах. Аналогичный эффект достигается при применении композиционных припоев, обеспечивающих пайку при зазоре до 1 мм.