

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по курсу
«ТЕХНОЛОГИЯ РЭА. ОБОРУДОВАНИЕ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ»

Часть 2

Ленинград — 1986

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 5 "Исследование энергетических характеристик технологического оборудования — основного элемента гибких производственных систем".	I
Лабораторная работа 6 "Исследование принципа действия и основных технических характеристик автоматической линии сборки контактных систем реле".	8
Лабораторная работа 7 "Исследование технологических процессов контактной и ультразвуковой сварки золотой и алюминиевой проволок с алюминиевыми контактными площадками.	13
Лабораторная работа 8 "Исследование технологического процесса вакуумного напыления при изготовлении изделий на ПАВ.	16
Лабораторная работа 9 "Исследование технологического процесса фотолитографии при изготовлении фильтров на ПАВ	19
Лабораторная работа 10 "Исследование технологических процессов контроля герметичности при производстве РЭА" 22	
Лабораторная работа 11 "Исследование технологического процесса механических испытаний РЭА"	24

Методические указания к лабораторным работам по курсу
"ТЕХНОЛОГИЯ РЭА. ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ". Часть 2.

Ответственный редактор А.Т. Мельниченко
Корректор Е.Ю. Николаева.
Подписано к печати 15.09.86 г. Зак. 1508
Объем 1³/₄ п.л. Тираж 100 экз.
Цена 23 коп. Оперативная печать.

Ротапринт типографии ЛЭИС.
198320, Ленинград, Свободы, 31.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ - ОСНОВНОГО ЭЛЕМЕНТА ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ (ГПС)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: на примере лазерной установки проанализировать структурную схему технологического оборудования - элемента ГПС, исследовать его технический и технологический КПД.

1. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

1.1. Ознакомиться с устройством и принципом действия лазерной технологической установки типа "Квант" и рассмотреть на ее основе структурные схемы управляемого оборудования и технологического процесса (ТП).

1.2. Проанализировать зависимость технического КПД η лазерной установки от эффективности использования элементов ее конструкции, определить величину η , а также измерить пороговую энергию накачки лазера $E_{пор}$ при оптимальной настройке элементов установки.

1.3. Измерить интегральный коэффициент отражения R лазерного излучения при сварке различных деталей и узлов РЭА, определить технологический $\eta_{т}$ и общий $\eta_{об}$ КПД процесса лазерной сварки.

1.4. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка, оптическая схема которой показана на рис. 1.1., состоит из твердотельного лазера, генерирующего импульсное излучение с длиной волны 1,06 мкм, и комплекта оптических деталей, фотоприемников, калориметра и осциллографа, предназначенных для формирования и измерения параметров лазерного излучения.

Часть излучения лазера 1 ответвителем 2 и 5 отражается в направлении фотоприемника 15 и калориметра 3. Калориметр служит для контроля энергии импульса излучения. Запоминающий осциллограф 16, на вход которого подаются сигналы с фотозлектрического приемника, регистрирует временную форму импульса излучения, генерируемого лазером. Излучение лазера, прошедшее ответвители, фокусируется

ся объективом 6 на поверхность мишени 8, расположенной таким образом, что центр зоны облучения мишени смещен относительно центра 0 полусферы 7 на некоторое расстояние и находится в диаметральной плоскости полусферы. Излучение, отраженное от поверхности мишени, перефокусируется полусферой на поверхность светорассеивающего ослабителя 10, расположенного так, что центр приемной площадки его симметричен относительно точки 0 центру зоны облучения мишени. Излучение, прошедшее ослабитель, регистрируется приемником 9, соединенным с осциллографом 11. Часть излучения, отраженного от поверхности мишени в апертуру фокусирующего объектива, ответвителем 5 отражается в направлении фотоприемника 12, который соединен со вторым входом двухлучевого осциллографа. Объективы 4, 13 и 14 используются для направления пучков лазерного излучения во входные зрачки соответствующих приемников 3, 12 и 15.

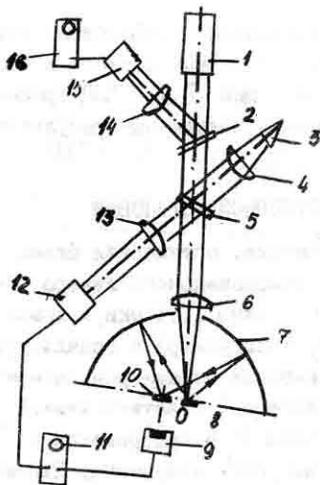


Рис. 1.1. Схема лабораторной установки

В установке использована зеркальная полусфера с высокоотражающим металлическим покрытием. Радиус зеркальной поверхности полусферы равен 75 мм. Пучок излучения направляется на мишень через отверстие в полусфере, имеющее диаметр 25 мм. Мишени устанавливаются таким образом, чтобы облучаемая поверхность была расположена нормально к оси падающего пучка.

В качестве оптических элементов установки 2, 4, 5, 6, 10, 13, 14 используются стандартные детали и узлы от лазерных установок типа "Квант". Фотопреобразователями приемников 9, 12, 15 могут служить кремниевый фотодиод ФД-24К, либо вакуумный фотоэлемент, сигналы с которых регистрируются запоминающим осциллографом типа С8-11. В качестве калориметра 3 использован образцовый измеритель мощности и энергии лазерного излучения ИМ02-Н, с помощью которого калибруются показания рабочего измерителя энергии лазера (на схеме не показан), а также показания осциллографов.

Эксперимент позволяет для каждого случая облучения мишени (свариваемых материалов) получить осциллограммы изменения мощности падающего пучка (осциллограф 16) и соответствующих изменений мощности зеркально (осциллограф 12) и диффузно (осциллограф 9) отраженного излучения. Зеркально отраженным излучением здесь названо излучение, поступающее в апертуру фокусирующего объектива, а диффузно отраженным — излучение, отраженное на поверхность полусферы. Значение измеряемых коэффициентов отражения в каждый момент времени определяется как отношение "мгновенных" интенсивностей отраженного и падающего излучений. Так находятся диффузная $R_d(t)$ и зеркальная $R_z(t)$ доли отражения. Суммарный коэффициент отражения в момент времени t определяется как

$$R(t) = R_d(t) + R_z(t).$$

Интегральный (усредненный) за время импульса коэффициент отражения определяется как отношение энергии импульса отраженного излучения (находится путем графического интегрирования соответствующих осциллограмм) к энергии падающего излучения (измеряется рабочим измерителем лазера, либо осциллографом 16, либо калориметром).

Установка обеспечивает измерения с погрешностью не хуже $\pm 10\%$.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Для выполнения п.1.1. задания воспользоваться литературой [1, с. 5-7, 39-43], а также техническим описанием лазерной установки с осмотром ее блоков и узлов.

Структурная схема лазерной технологической электроустановки может быть представлена в виде, показанном на рис.1.2, где ИП - источник питания; ЭН - энергоноситель; ТУ - транспортное устройство; СУ - система управления установкой.

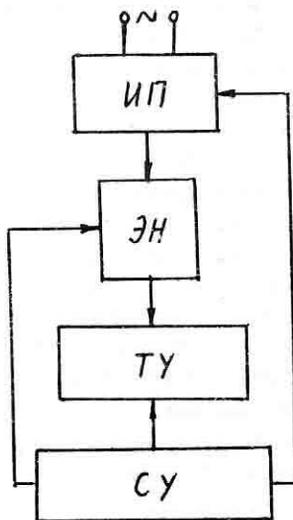


Рис.1.2. Структурная схема лазерного технологического оборудования

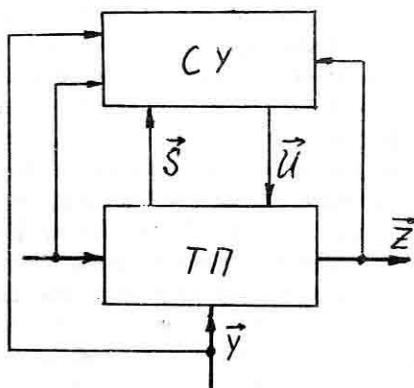


Рис.1.3. Структурная схема управляемого ТП

При анализе структурной схемы управляемого ТП лазерной обработки он может быть представлен в виде многомерного нелинейного стохастического объекта, на который воздействуют управляющие и возмущающие переменные. В этом случае управляемым объектом является ТП лазерной обработки (рис.1.3.), рассматриваемый как процесс функционирования технологической системы (лазерной технологической установки) в реальном масштабе времени. Таким образом, анализируемая подсистема СУТП выполняет основную функцию ГПС - ТП лазерной обработки.

На рис.1.3. состояние объекта управления, состояние материального входа (подлежащее обработки детали) и выхода (обработанные или обрабатываемые детали), внешняя среда описываются соответствующими векторами состояния \vec{S} , \vec{X} , \vec{Z} , \vec{Y} . Контролируемые значения компонентов этих векторов подаются в СУ, где происходит их анализ и выработка управляющего воздействия \vec{U} , которое чаще всего подается на исполнительные устройства объекта управления. Развита ГПС в составе СУ содержит устройства автоматического контроля качественных показателей ТП \vec{Z} . Для обеспечения активного неразрушающего контроля качества лазерной обработки рекомендуется применять оперативные методы анализа: по отраженному излучению, акустической эмиссии, излучению плазменного факела и др.

3.2. Для анализа зависимости технического КПД лазерной установки от эффективности использования элементов ее конструкции величину η можно представить в виде произведения

$$\eta = \eta_n \cdot \eta_{оп} \cdot \eta_o \cdot \eta_k \cdot \eta_{ф} \cdot \eta_{ю}$$

где η_n - КПД электрической схемы системы накачки; $\eta_{оп}$ - эффективность преобразования электрической энергии накопителя в лучистую лампы накачки; η_{λ} - коэффициент использования излучения лампы для возбуждения активной среды; η_o - КПД отраженной камеры; η_k - квантовая эффективность активной среды; $\eta_{ф}$ - коэффициент, учитывающий потери излучения на поглощение и отражение в оптических деталях системы формирования лазерного пучка; $\eta_{ю}$ - эффективность юстировки (настройки) элементов излучателя.

Необходимые сведения для выполнения п. 1.2. задания могут быть получены из литературы [2, с. 23 - 30]. При этом необходимо учитывать, что на практике составляющие величины η имеют следующие значения: $\eta_n = 0,3 \div 0,4$; $\eta_{оп} = 0,4 \div 0,5$;
 $\eta_{\lambda} = 0,1 \div 0,15$;

$$\eta_0 = 0,5 - 0,7; \quad \eta_k = 0,5; \quad \eta_{\phi} = 0,2 - 0,3.$$

При оптимальной юстировке элементов излучателя η_{10} может быть принят равным 1. Однако в процессе эксплуатации величина η_{10} уменьшается, а при неудовлетворительной настройке излучателя может произойти срыв генерации или значительные потери излучения в системе формирования.

Расчет технического КПД лазерной установки может быть произведен по формуле

$$\eta = E_{\text{вых}} / E_{\text{вх}},$$

где $E_{\text{вых}}$ - энергия излучения на выходе системы формирования лазерного пучка, измеряемая калориметром 3 (рис. I.1.) или рабочим измерителем энергии; $E_{\text{вх}}$ - электрическая энергия, поступающая на вход ИП.

Расчет по приведенной выше формуле следует произвести для нескольких значений энергии накачки

$$E_n = C U_n^2 / 2,$$

где C - емкость конденсаторов накопителя; U_n - напряжение на емкости накопителя. Например, для $E_n \approx E_{\text{пор}}$, $E_n \leq E_{\text{макс}}$,

$$E_n = (E_{\text{макс}} + E_{\text{пор}}) / 2.$$

Исходные данные, результаты расчета и измерения свести в таблицу журнала лабораторных работ.

3.3. Для выполнения п. I.3. задания внимательно изучить работу лабораторной установки и получить у преподавателя детали и узлы РЭА, подлежащие сварке с помощью излучения лазера I (рис. I.1.). Свариваемые образцы-мишени в зоне облучения должны быть очищены от посторонних частиц и других видов загрязнений. Для приобретения навыка в работе рекомендуется произвести 3-4 измерения коэффициента R на одном типе мишеней. Характерные осциллограммы изменения мощности падающего излучения R_0 , зеркальной R_z и диффузной R_d составляющих отраженного излучения при сварке металлов излучением технологического лазера приведены на рис. I.4., где временные зависимости коэффициентов R , R_z и R_d рассчитаны по осциллограммам, (P - в условных единицах).

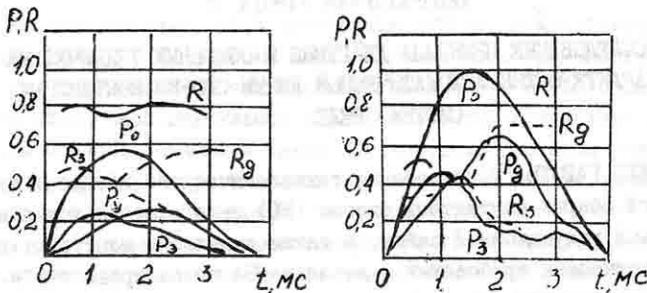


Рис.1.4. Типичные осциллограммы изменения мощности излучения и расчетные зависимости коэффициентов отражения: а – режим облучения без расплавления металла; б – режим сварки МН 19

Исходные данные, результаты измерений и расчетов свести в таблицу журнала лабораторных работ. Расчет параметров процесса сварки

\bar{P}_T и $\bar{P}_{об}$ может быть выполнен по формулам

$\bar{P}_T = (1 - \bar{R})$, $\bar{P}_{об} = P \cdot \bar{P}_T$,
 где \bar{R} – усредненный во времени импульса излучения коэффициент отражения R , определяемый графически.

3.4. При анализе результатов исследования и формулировании выводов обратить внимание на степень соответствия полученных данных данным, представленным в литературе [1, с. 12].

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

4.1. Назовите основные узлы (блоки), входящие в состав любой технологической электроустановки.

4.2. Охарактеризуйте возможные схемы управления ТП
 $U(t) = U[X(t), Y(t), Z(t), S(t)]$. Используйте для описания схемы, показанные на рис. 1.2 и 1.3.

4.3. Назовите возможные методы повышения технического и технологического КПД процесса лазерной обработки металлов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СБОРКИ КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ РЕЛЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование технологического процесса автоматической сборки контактных систем (КС) реле с использованием групповой индукционной пайки, а также выявление конструктивно-технологических требований к деталям РЭА по собираемости и паяемости в автоматическом режиме.

1. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

1.1. Ознакомиться с устройством, принципом действия и особенностями эксплуатации автоматической линии (АЛ) сборки КС реле.

1.2. Составить технологическую схему сборки КС на АЛ, исследовать и построить цикловую диаграмму работы АЛ.

1.3. Ознакомиться с технологическим процессом флюсования и индукционного нагрева при пайке деталей и узлов КС. Выявить основные параметры режима индукционного нагрева, способы их задания и контроля.

1.4. Ознакомиться с особенностями автоматической сборки КС реле, средствами технологического оснащения и контроля АЛ, установить основные конструктивно-технологические требования к собираемым деталям, флюсу, припою и технологической оснастке.

1.5. Разработать и оформить ТП сборки КС реле РЭС90 на АЛ с включением в него операций промывки и контроля качества сборки КС.

1.6. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

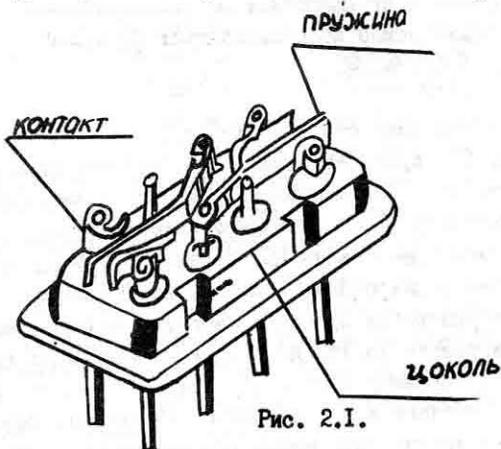
2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из специализированной АЛ сборки КС реле ЯЛМ1.135.000, разработанной в НПО, и приборов визуального контроля качества сборки: лупы с увеличением $7\times$, микроскопа МБС-1 и МБС-9, снабженного ультрафиолетовым осветителем типа ОИ-18.

АЛ представляет собой простейшую гибкую производственную систему (ГПС), состоящую из линейного шагового транспортного устройства, перемещающего технологические кассеты с шаблонами для сборки вдоль ряда механизмов и устройств, осуществляющих установку дозы припоя, деталей и узлов КС, контроль процесса установки, флюсование, пайку и пр. операции согласно ТП. Перечисленные механизмы и устройства совместно с пультом управления, накопителями и высокочастотным индуктором генератора токов высокой частоты составляют конструктивно единое целое. Источником высокочастотного нагрева служит промышленный ламповый генератор ВЧИ4-10 с колебательной мощностью до 10 кВт и частотой тока 440 кГц.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Для выполнения п.1.1 задания воспользоваться техническим описанием и инструкцией по эксплуатации АЛ ЯЛМ1.135.000 с осмотром ее основных блоков и узлов. Обратит особое внимание на устройство и характер взаимодействия транспортных кассет, механизмов установки деталей и узлов КС. Необходимо освоить практически работу на АЛ в наладочном и автоматическом режимах. При этом первоначально необходимо изучать работу линии в холостом режиме, строго соблюдая требования инструкции по технике безопасности. Внешний вид собранной КС реле РЭС90 показан на рис. 2.1



Внешний вид собранной КС реле РЭС90

3.2. При составлении технологической схемы сборки КС первым элементом схемы следует выбрать передачу технологической кассеты с пятью шаблонами из левого магазина на плиту транспортера. Заканчиваться технологическая схема должна передачей собранной КС на операцию промывки.

3.3. Для выполнения п.1.3 задания ознакомиться со сборочным чертежом КС реле РЭС90, обратив особое внимание на марку припоя, регулировочные характеристики КС и технические требования к качеству пайки.

Процесс пайки на АЛ происходит по следующей схеме:

1. Флюсование луженых выводов цоколя.
2. Индукционный нагрев преимущественно металлического шаблона и расплавление уложенной на цоколь шайбы припоя за счет теплопередачи от шаблона к системе цоколь-шайба припоя.
3. Разогрев и кипение флюса и затекание припоя в капиллярный зазор между выводом и петлей контакта (пружины).
4. Кристаллизация расплава припоя после окончания нагрева.

Используя литературу [3], подобрать флюс с учетом требуемой активности, температуры пайки, способа флюсования и т.п.

Опробовать пайку КС реле РЭС90, используя различные флюсы и дозы припоя, предложенные преподавателем. Сравнить результаты пайки КС с эталонными образцами.

Для качественных и предварительных количественных оценок параметров режима пайки можно воспользоваться формулой

$$P = \frac{C m (T_{\text{ш}} - T_0)}{\eta \cdot \tau},$$

где P - колебательная мощность генератора; η - к.п.д. индуктора и токопровода; τ - время нагрева; C - удельная теплоемкость стального шаблона; m - масса шаблона; $T_{\text{ш}}$ - максимальная температура нагрева шаблона; T_0 - начальная температура.

Технологическое время пайки КС составляет 0,5-2 с и ограничено снизу временем формирования паяного шва, а сверху - окислением деталей. Для ускорения процесса передачи тепла от шаблона к припою следует нагревать шаблон до предельно возможных температур (около 700-900°C), ограничиваемых, как правило, термическими поводками материала шаблона и его активным окислением. Минимальная температура $T_{\text{ш}}$ не должна быть менее температуры полного расплав-

ления припоя T_n и с учетом косвенного разогрева припоя составляет $(1,5+2)T_n$:

3.4. Для выполнения п.1.4 воспользоваться технической документацией на АЛ ЯЛМИ.135.000, ознакомиться с устройством и работой средств автоматизации и контроля, применяемых в АЛ. Обратит особое внимание на взаимосвязь размеров собираемых деталей и узлов с размерами деталей проводов, гнезд шаблонов, схватов и других элементов АЛ (деталь-провод - желобок для подачи деталей).

Расчет дозы припоя следует производить для условия полного заполнения припоем капилляра, образованного между выводом цоколя и петлей контакта.

Высота подъема припоя в капилляре может быть оценена по формуле

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g}$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения расплава ($\sigma = 5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2}$); θ - угол смачивания паяемой поверхности припоем (при правильном подборе флюса и режима пайки $\theta \rightarrow 0^\circ$); e - зазор между выводом и петлей контакта; ρ - плотность расплава; g - ускорение силы тяжести.

При анализе конструктивно-технологических особенностей капиллярной низкотемпературной пайки КС реле воспользоваться литературой

3.5. Для выполнения п.1.5 задания воспользоваться методическими указаниями, изложенными в литературе [4]. Кроме того, могут быть использованы для изучения промышленные комплекты технологической документации на сборку узлов реле на АЛ.

При разработке операции контроля качества сборки обратить особое внимание на формулирование требований к качеству отмычки КС от остатков флюса. В ТП следует ввести обычный оптический и люминесцентный контроль остатков флюса с указанием цвета окраски флюса и других загрязняющих веществ.

3.6. При анализе результатов работы и формулировании выводов следует обратить внимание на степень соответствия расчетных и экспериментальных конструктивно-технологических параметров процесса сборки КС реле, оценить уровень автоматизации ТП и пути его дальнейшего совершенствования.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

4.1. Перечислите основные блоки и узлы, входящие в состав АД, найдите взаимосвязь элементов ее конструкции с элементами технологической схемы.

4.2. Какова сущность индукционной пайки? Охарактеризуйте особенности низкотемпературной капиллярной пайки.

4.3. Каковы достоинства и недостатки групповых методов пайки?

4.4. Каковы основные принципы подбора оптимальных режимов индукционной пайки КС реле в шаблоне?

4.5. Перечислите основные конструктивно-технологические требования к собираемым деталям, флюсу и припою. Дайте определение таким понятиям как "собираемость" и "паяемость".

4.6. Назовите допустимые и не-допустимые дефекты сборки КС реле РЭС90. Какие дефекты пайки и установки деталей перед пайкой? К ^{они} какому образцу подлежат исправлению?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ЗОЛОТОЙ И АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОВОЛОКИ С АЛЮМИНИЕВЫМИ КОНТАКТНЫМИ ПЛОЩАДКАМИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование основных физико-технических и технологических характеристик процессов контактной точечной и ультразвуковой сварки при изготовлении РЭА, выбор оборудования, приемов и режимов сварки.

1. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

- 1.1. Ознакомиться с физико-техническими особенностями контактной и ультразвуковой сварки металлов.
- 1.2. Изучить конструкцию, основные узлы и принципы действия установки контактной точечной сварки типа ЭМ-42ЭМ и установки ультразвуковой сварки ЭМ-42ЭМ.
- 1.3. Определить основные параметры сварочных установок и ознакомиться с принципами их ручного и автоматического управления.
- 1.4. Ознакомиться с конструктивно-технологическими требованиями, предъявляемыми к деталям и узлам, подлежащим контактной и ультразвуковой микросварке.
- 1.5. Подобрать оптимальные режимы сварки проводников к контактным площадкам, оценивая качество сварки анализом прочности соединения на отрыв при изменении одного из параметров режима.
- 1.6. Разработать и оформить ТИ сварки проводников с включением в них операций контроля прочности и внешнего вида сварных соединений.
- 1.7. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из самостоятельных сварочных установок промышленного назначения.

Контактная точечная сварка основана на нагреве металла в местах наибольшего сопротивления при прохождении электрического тока и одновременном сжатии соединяемых деталей с помощью электродов сварочной установки. Для монтажа проводников, имеющих круглое сечение, с тонкими пленками или пластинами наиболее рас-

пространена односторонняя сварка расщепленным электродом.

Ультразвуковая сварка осуществляется при подведении к свариваемым деталям энергии механических колебаний ультразвуковой частоты с одновременным приложением нагрузки.

Контроль прочности сварных соединений осуществляется граммометром. Усилие на отрыв должно быть не менее 3 Г.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Для выполнения п. I.1 задания воспользоваться литературой [5].

3.2. Для выполнения пп. I.2 и I.3 задания воспользоваться техническим описанием сварочных установок с осмотром их блоков и узлов. Дополнительные сведения по конструкции и принципам действия сварочных установок можно найти в литературе [5, с. 152-169].

3.3. Для выполнения п. I.4 задания воспользоваться ОСТ 4ГО.054.242 и ТП изготовления фильтров на ПАВ, натурными образцами, представленными преподавателем.

3.4. При подборе оптимального режима сварки необходимо руководствоваться следующим.

Оставляя постоянным время сварки, усилие сжатия электродов и время нарастания импульса и изменяя только напряжение источника питания, добиться прочности сварного соединения на отрыв не менее 3 Г. Оставляя постоянными время сварки, ее тепш и напряжение, но изменяя усилие сжатия электродов, также добиться удовлетворительной сварки.

Результаты измерений занести в таблицу журнала лабораторных работ.

3.5. Для выполнения п. I.6 задания воспользоваться ОСТ 4ГО.054.242. Дополнительные сведения по оформлению ТП сварки могут быть получены при изучении комплектов технологической документации, предложенных преподавателем.

3.6. При анализе результатов работы и формулировании выводов обратить внимание на характер зависимостей прочности сварных соединений от параметров режимов сварки. Оценить взаимосвязь внешнего вида сварного соединения с его прочностными характеристиками.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМПРОВЕРКИ.

4.1. Какова сущность контактной точечной и ультразвуковой сварки?

4.2. Перечислите основные параметры режима контактной и ультразвуковой сварки и охарактеризуйте их взаимосвязь с прочностью сварного соединения.

4.3. Каким образом выбирается оптимальный режим сварки?

4.4. Каковы конструктивно-технологические особенности контактной сварки золотой проволоки и ультразвуковой сварки алюминиевой проволоки с металлическими площадками?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ НА ПАВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование основных физико-технических и технологических характеристик и режимов процесса вакуумной металлизации пластин при изготовлении изделий на ПАВ, ознакомление с промышленным оборудованием вакуумного напыления и особенностями его автоматизации.

1. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

1.1. Ознакомиться с физико-техническими основами металлизации пластин, выявить взаимосвязь основных параметров вакуумного напыления.

1.2. Изучить конструкции, основные узлы и принципы действия современных промышленных установок вакуумного напыления типа УВН-74П-3.

1.3. Определить основные параметры установок вакуумного напыления, выявить влияние этих параметров на характеристики металлизации, ознакомиться с принципами автоматического управления ТП вакуумного напыления.

1.4. Ознакомиться с конструктивно-технологическими требованиями, предъявляемыми к оснастке и материалам, применяемым при металлизации пластин. Определить основные требования к металлизированным поверхностям в изделиях на ПАВ.

1.5. Установить зависимость скорости испарения вещества от давления паров вещества и проанализировать эту зависимость для различных материалов.

1.6. Разработать и оформить ТП вакуумного напыления алюминия на пластины ниобата лития с включением в него операций контроля качества металлизации.

1.7. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы по работе.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из установки вакуумного напыления УВН-74П-3, которая включает в себя рабочую камеру, вакуумную откачную систему и шкаф управления, обеспечивающий выполнение

параметров металлизации в вакууме в ручном или автоматическом режиме.

Контроль толщины напыленной металлической пленки ведется с помощью интерферометра МИИ-4 на границе среза металлизация - пластина.

Адгезия металлической пленки к пластине (подложка) проверяется путем отрыва приваренной к поверхности пленки алюминиевой проволоки.

Приварка проволоки производится на установке ультразвуковой сварки ЭМ-423М, а проверка на отрыв - на установке ГГ-2072.

Контроль внешнего вида напыленного металлического слоя проводится визуально с использованием микроскопа МЕС-9.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Для выполнения п.1.1 задания воспользоваться литературой [6; 7]. Обратить особое внимание на взаимосвязь между температурой испарения T , давлением насыщенных паров $P_{исп.}$, скоростью испарения $U_{исп}$. Результаты анализа следует использовать при разработке ТП.

3.2. При выполнении пп. 1.2 и 1.3 задания воспользоваться техническим описанием и инструкцией по эксплуатации установки вакуумного напыления УВН-74П-3.

3.3. Для выполнения п. 1.4 задания воспользоваться литературой [6], а также натурными образцами пластин до и после напыления, образцами технологической оснастки. Дополнительные сведения можно найти в ОСТ4.ГО.054.238 "Микросборки. Платы тонкопленочные. ТТП".

3.4. При анализе зависимости скорости испарения вещества $U_{исп}$ от равновесного давления насыщенных паров вещества $P_{исп}$

$$U_{исп} = 0,585 \sqrt{\frac{M}{T}} P_{исп},$$

где T - температура вещества, К; M - молекулярная масса вещества, г/моль, воспользоваться литературой [6 с.141-144].

3.5. Для выполнения п.1.6 задания воспользоваться описанием ТП металлизации в ОСТ4.ГО054.238 "Микросборки, Платы тонкопленочные. ТТП.", а также сведениями из проектного ТП предприятия "Издения акустоэлектроники. Полосовые фильтры на ПАВ для блоков селекции УКВ диапазона и ВЧ тракта радиоприемников".

3.6. При анализе результатов работы и формулировании выводов обратить особое внимание на взаимосвязь технических параметров вакуумного оборудования с такими важнейшими свойствами пленок как толщина и адгезия. Сравнить рассчитанную и найденную эмпирически скорости испарения алюминия на пластины из ниобата лития.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

4.1. Какова сущность термического испарения в вакууме, его преимущества и недостатки?

4.2. Перечислите основные требования к материалу подложки и испаряемому веществу с точки зрения вакуумной технологии.

4.3. Какие Вы знаете методы контроля толщины напыленных пленок и адгезии пленок к подложке? Опишите сущность этих методов.

4.4. Каковы требования к помещениям, в которых производятся процессы вакуумного напыления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОТОЛИТОГРАФИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФИЛЬТРОВ НА ПАВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование основных технологических характеристик процесса формирования на подложке из ниобата лития топологии фильтров на ПАВ и ознакомление с технологическим оборудованием,

1. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

1.1. Ознакомиться с общими принципами литографического процесса, существующими промышленными методами литографии, технологической схемой формирования топологии рисунка: формирование слоя защитного покрытия, экспонирование, проявление, травление металлизации, снятие фоторезиста.

1.2. Ознакомиться с основными техническими требованиями, определяющими качество литографического процесса. Оценивая разрешающую способность различных методов литографии, предложить ТП изготовления фильтров на ПАВ для частоты до 300 МГц, обосновать выбор ТП, а также материалов, используемых для изготовления фильтров.

1.3. Изучить конструкции, основные узлы и принцип действия фотолитографического оборудования: полуавтомата нанесения фоторезиста ПНФ-6Ц-Д130-3, установки сушки и полимеризации фоторезиста УС ПЖ-1, полуавтомата совмещения и экспонирования УПСЗ-3.

1.4. Самостоятельно осуществить процесс формирования топологических рисунков фильтров на ПАВ на металлизированных подложках ниобата лития. Определить зависимость скорости проявления позитивного фоторезиста от времени экспонирования, выявить фотографическую широту и оптимальное время экспонирования.

1.5. Разработать и оформить ТП изготовления топологического рисунка фильтров на ПАВ с включением в него операции контроля качества фотолитографии.

1.6. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из комплекса промышленных установок ПНФ-6Ц-Д130-3, УС ПЖ-1, УПСЗ-3, полуавтомата проявления фоторезиста ПЖ-2, составляющих промышленную линию фотолитографии "Титан-01". Для оценки качества фотолитографии используется про-

мышленный микроскоп "Биолам М" и микроинтерферометр МИИ-4.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Для выполнения пп. 1.1 и 1.2 задания воспользоваться литературой 6-8, ознакомиться с нормативно-технической документацией и натурными образцами, предложенными преподавателем.

3.2. При изучении фотолитографического оборудования воспользоваться техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации установок ПФ-6Ц-Д130-3, УСПЭ-1, УСПЭ-3, ППЭ-2 с осмотром их основных блоков и узлов.

3.3. При выполнении экспериментальной части работы и оформлении ТП следует руководствоваться проектным ТП предприятия "Изделия акустоэлектроники. Полосовые фильтры на ПАВ для блоков селекции УКВ диапазона и ВЧ тракта радиоприемников". Определяя зависимость скорости травления фоторезиста ФП-383 v_T от времени его экспонирования $\tau_э$, следует руководствоваться качественной зависимостью $v_T(\tau_э)$, показанной на рис. 5.1.

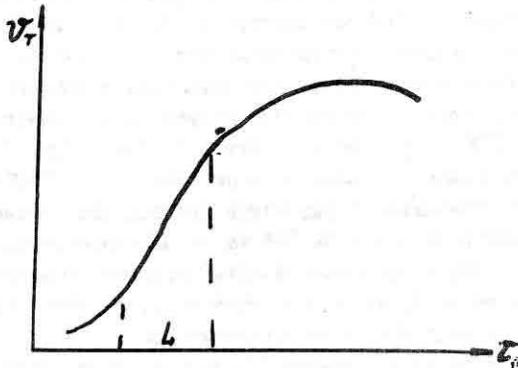


Рис.5.1.

Зависимость скорости травления фоторезиста v_T от времени его экспонирования $\tau_э$

Выбирая оптимальное время экспонирования $\tau_э \text{ опт}$, следует иметь в виду, что $\tau_э \text{ опт}$, при котором наблюдается минимальное искажение геометрических размеров топологии рисунка, практически

совпадает с фотографической широтой L .

3.4. При анализе результатов работы и формулировании выводов обратить внимание на степень соответствия полученной зависимости $U_T(\tau)$ кривым, представленным в проектном ТП.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

4.1. Каковы общие принципы процесса фотолитографии? Чем определяется разрешающая способность данного ТП?

4.2. Опишите маршрутный ТП изготовления топологического рисунка фильтра на ПАВ.

4.3. Каковы основные критерии оценки качества ТП фотолитографии?

4.4. Охарактеризуйте методику определения оптимальных параметров режима экспонирования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЭА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование основных физико-технических и технологических характеристик процесса контроля герметичности, ознакомление с промышленными приборами и установками для контроля герметичности. Определение требований к герметичности РЭА. Получение практических навыков по работе на оборудовании для контроля герметичности.

1. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

1.1. Ознакомиться с физическими основами процесса контроля герметичности, единицами измерения и требованиями к герметичности РЭА.

1.2. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия течейскаателей, установки УКТМ-2, насоса Камовского. Практически оценить чувствительность испытаний и подготовить установкой к работе.

1.3. Ознакомиться с принципом опрессовки РЭА в среде газеиндикатора и произвести проверку герметичности партии микросборок РЭА, рассчитать герметичность каждого изделия.

1.4. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы по работе.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Течейскаатель лабораторной установки состоит из масс-спектрометрической камеры, электрической схемы измерения и вакуумной системы. Контролируемое изделие, заполненное газом - индикатором. (в нашем случае гелием), с помощью специального приспособления соединяется с камерой масс-спектрометра, которая находится в сильном поле постоянного магнита. Гелий из изделия проходит по вакуумной системе к камере масс-спектрометра, где ионизируется. Ионы гелия в магнитном поле изменяют траекторию своего движения, попадают на датчик, в-следствие чего появляется ионный ток, величина которого зависит от количества гелия, т.е. от степени герметичности. Установка контроля герметичности УКТМ-2 имеет течейскаатель, соединенный с вакуумно-механическим агрегатом. Назначение последнего - автоматически соединять изделие с течейскаателем для контроля герметичности. Кроме того, установка оснащена блоком автоматической

разбраковки, с помощью которого устанавливается требуемый уровень разбраковки.

Насос Камовского представляет собой сосуд с прозрачной жидкостью, находящийся под прозрачным колпаком, из-под которого удаляется часть воздуха (создается разрежение). Если в жидкость поместить изделие, заполненное до атмосферного давления любым газом, то, разредив пространство над жидкостью, создается условие для выхода газа из изделия через течи. Выход пузырьков газа наблюдается визуально.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. При выполнении п.1.1 задания воспользоваться литературой [9]. Обратит внимание на чувствительность испытаний при различных методах контроля герметичности. Пользуясь формулой

$$Q = \frac{V \cdot \Delta p}{\Delta t},$$

где V - объем изделия; Δp - перепад давлений; Δt - время наблюдения, определить требования к герметичности изделий объемом 0,2 см³ и 2 см³, при $\Delta t = 2,5$ года и 25 лет и $\Delta p = 600$ мм рт.ст. и 100 мм рт.ст. Результаты расчета свести в таблицу журнала лабораторных работ.

3.2. Для выполнения пп. 1.2 и 1.3 задания воспользоваться техническими описаниями течейскаателя, установки УКМ-2 и насоса Камовского. Дополнительные сведения могут быть получены при изучении ТП предприятия ТП ЯЛО1200.00000 "Определение герметичности реле". При этом следует обратить особое внимание на последовательность проверок и определить истинную герметичность изделий, пользуясь зависимостью

$$B = S_0 (d_{изг} - d_{см}),$$

где S_0 - чувствительность испытаний, $\frac{\text{л} \cdot \text{мм} \cdot \text{рт.ст.}}{\text{см} \cdot \text{В}}$;

$d_{изг}$ - величина сигнала изделия, мВ ;

$d_{см}$ - величина (средняя) сигнала от пустого стакана, мВ.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

4.1. Что такое герметичность?

4.2. В каких единицах измеряется герметичность, как перейти из одной системы единиц к другой?

4.3. Какие методы контроля герметичности перспективны?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА II
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКИХ
ИСПЫТАНИЙ РЭА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование основных характеристик ТП механических испытаний РЭА в условиях промышленного производства, определение конструктивно-технологических требований к РЭА на примере электромагнитных реле.

I. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

I.1. Ознакомиться с физико-техническими основами механических испытаний РЭА.

I.2. Изучить конструкции, основные узлы и принцип действия испытательных вибрационных установок электродинамического типа "Дерритрон" и УВЭ-5/10000, ударных установок типа *St-7500* и центрифуг.

I.3. Ознакомиться с конструктивно-технологическими требованиями, предъявляемыми к деталям и узлам электромагнитных реле при проведении механических испытаний реле.

I.4. Ознакомиться с требованиями и методами испытаний при воздействии механических факторов.

I.5. Ознакомиться с требованиями к конструкции технологических приспособлений при испытаниях на воздействие вибрационных и ударных нагрузок, методами закрепления приспособлений и РЭА при испытаниях.

I.6. Принять участие в механических испытаниях электромагнитных реле.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Вибрационная испытательная установка состоит: из системы задания и контроля параметров вибрации на установках:

VP 85 - система *VCC-1M*

УВЭ5 - система *СУВУ-3*;

стойки управления и контроля;

усилителя мощности;

вибратора.

С помощью системы задания, поддержания и контроля параметров вибрации производится управление вибрацией в нужных режимах, имеющих форму колебаний стола вибратора, изменяющуюся по синусоидаль-

ному закону с вполне определенной амплитудой стола вибратора, которая зависит от условий заданий (по ускорению, по перемещению) вида вибрации и поддержания его постоянства в необходимом для нас диапазоне частот.

С помощью стойки управления и контроля осуществляется запуск в работу всей испытательной системы и осуществляется контроль энергетических параметров установки.

Усилитель мощности служит для усиления сигналов, получаемых в системе управления и контроля вибраций.

Вибратор при воздействии постоянного и переменного поля преобразует электрический сигнал в механические колебания стола вибратора.

Ударная испытательная установка состоит из пульта управления и ударного стола.

На пульте управления имеются: органы управления электропитанием установки; регулятор управления скоростью следования ударов; счетчик, по которому контролируется количество ударов.

Ударный стол представляет конструкцию, в которой разгон платформы стола происходит как под действием силы тяжести, так, и за счет усилий предварительно сжатых рессор. Платформа перемещается вертикально вверх с помощью шарнирного механизма на двух осях.

Центрифуга состоит из диска и пульта управления, где установлены регулятор скорости вращения диска центрифуги, контрольные приборы на электропитание центрифугой и прибор, показывающий ускорение развиваемое центрифугой. Диск центрифуги приводится в действие с помощью электродвигателя постоянного тока, соединенного с валом центрифуги с помощью клиноременной передачи. На диске имеются два подключающих устройства и приспособления, с помощью которых закрепляются изделия на диске. Линейные ускорения создаются за счет центробежной силы, возникающей во время вращения диска центрифуги и зависящей от скорости вращения диска. Радиус, на котором закрепляется изделие, постоянен и равен 50 см.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Для выполнения п.1.1 задания можно воспользоваться литературой [10].

3.2. Для выполнения п.1.2 задания воспользоваться техническими описаниями установок *Vp85*, *УВЗ-5/10000*, *St-7500* и центри-

фуг с осмотром их основных блоков и узлов.

При определении основных параметров установок обратить особое внимание на допустимые отклонения этих параметров и принципы их корректировки.

Дополнительные сведения можно найти в ГОСТ 16962 "Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний" и в ГОСТ 20.57.406 "Изделия электронной техники, квантовой техники и электротехнические. Методы испытаний".

3.3. Для выполнения п.1.4 задания следует воспользоваться требованиями разд. 2 - 4 ГОСТ 16121 "Реле слаботочные электромагнитные".

3.4. Для выполнения п.1.5 задания воспользоваться ОСТ II.00091.049 "Приспособления для испытаний на воздействие вибрационных и ударных нагрузок. Технические требования и конструирование".

3.5. Результаты лабораторной работы следует оформить в виде отчета, где должны быть отражены следующие вопросы:

На какой испытательной установке проводились вибрационные нагрузки и были-ли отклонения технических параметров реле при воздействии на них вибрации?

На какой испытательной установке проводились ударные нагрузки и были-ли отклонения технических параметров реле в процессе испытания?

Провести анализ отклонений параметров реле и дать краткую характеристику на соответствие их ТУ.

Указать, на каком технологическом приспособлении проводились ударные нагрузки, на какой центрифуге проводились линейные (центробежные) ускорения, были-ли отклонения технических параметров реле при проведении испытаний?

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

4.1. Какова сущность проведения механических испытаний?

4.2. Перечислите воздействующие факторы при проведении механических испытаний.

4.3. Дайте кратко характеристику современным испытательным установкам для испытаний на механические воздействия.

4.4. Опишите последовательность построения ТП механических испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малащенко А.А., Мезенов А.В. Лазерная сварка металлов: Учебн. пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по технологии и оборудованию сварочного производства. - М.: Машиностроение, 1984.
2. Байбородин В.В. Введение в лазерную технику. - Киев: Техника, 1977.
3. ОСТ 4ГО.033.200 - "Припой и флюсы для пайки. Марки, состав, свойства и область применения".
4. ОСТ 4ГО.054.027 - "Реле слаботочные. Пайка индукционная".
5. Назаров Г.В., Гривцов Н.В. Сварка и пайка в микроэлектронике. - М.: Сов. радио, 1969.
6. Иванов-Есипович Н.К. Физико-химические основы производства РЭА: Учебн. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1979.
7. Штернов А.А. Физические основы конструирования, технологии РЭА и микроэлектроники: Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 1981.
8. Лаврищев В.П. Введение в фотолитографию. - М.: Энергия, 1977.
9. Рудык А.Р., Любинский Д.Л. Технология миниатюрных реле/ Под ред. А.Д. Животченко. - Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние. 1982.
10. Шкаликов В.С. Измерение параметров вибрации и удара. - М.: Изд - во стандартов, 1980.