

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой РЭТЭМ, д.т.н.
_____ В.И. Туев
«__» _____ 2012г.

Технология РЭС

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Разработчики

Профессор каф. РЭТЭМ
д-р техн. наук

_____ Г.В.Смирнов

Доцент каф. РЭТЭМ
канд. техн. наук

_____ О.Е.Троян

Доцент каф. РЭТЭМ

_____ В.Г.Христюков

Старший преподаватель
каф. РЭТЭМ

_____ А.Г.Кан

2012

Работа 1

Анализ точности и стабильности технологических процессов производства радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств (4 часа, сам. работа 4 часа)

Содержание

1	Введение	3
2	Основные понятия о точности и стабильности технологических процессов	3
3	Количественная оценка точности технологического процесса	5
4	Построение гистограммы	9
5	Стабильность технологического процесса	12
6	Порядок выполнения работы	13
7	Содержание отчёта	15
8	Вопросы для самопроверки	15
9	Безопасность проведения работ	15
	Список использованных источников	16
	Приложение А Вероятность Р выхода годных изделий в зависимости от Т и Е	17

1 ВВЕДЕНИЕ

При выполнении данной работы студенты должны закрепить основные теоретические знания по анализу точности и стабильности технологических процессов производства радиоэлектронных средств (РЭС) и электронно-вычислительных средств (ЭВС). Ознакомиться с методами оценки точности технологии изготовления РЭС (ЭВС) в целом и на отдельных операциях, а также с методами оценки стабильности (или устойчивости) технологического процесса изготовления деталей и сборочных единиц РЭС (ЭВС) и научиться применять их на конкретных примерах.

2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТОЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологический процесс производства РЭС (ЭВС) следует рассматривать как определённую систему взаимодействующих факторов, влияющих на параметры качества изделий [1, 2]. Применяя статистический анализ интересующих нас параметров качества данной системы, получаем кривые распределения погрешностей этих параметров.

Погрешности параметров качества изделий и стабильность этих параметров - один из главнейших критериев качества технологического процесса производства РЭС (ЭВС). Аналитическое или графическое описание взаимодействия (или взаимного влияния) случайных технологических факторов производства и параметров качества изделий представляет собой стохастическую модель технологического процесса. Эта модель может использоваться для широкого круга задач, например:

- а) регулирования хода технологических операций, т.е. своевременного предупреждения и корректировки нарушений хода технологического процесса;
- б) выявления рационального уровня настройки и стабильности работы технологического оборудования, инструмента, оснастки и получения объективных данных для их модернизации и проектирования новых образцов;
- в) получение данных для оптимизации технологических процессов по их математическим и физическим моделям;
- г) расчёта и технико-экономического обоснования межоперационных допусков на параметры качества изделий.

В любом производстве возникают погрешности, из-за которых параметры качества изделий отличаются от требуемых (номинальных). Такие погрешности принято называть производственными. Они весьма многочисленны и разнообразны по своей природе и значимости. Обычно различают два вида производственных погрешностей: случайные и систематические.

Погрешности называются случайными, если их появление можно предсказать только с некоторой вероятностью. При этом ни величину, ни знак отклонения параметров качества от номинала невозможно предсказать с полной определённойностью.

Систематические же погрешности можно точно предсказать. Систематические погрешности обычно делятся на постоянные и закономерно изменяющиеся.

Кроме случайных и систематических погрешностей на практике встречаются также грубые ошибки (промахи), зависящие от грубых ошибок операторов, неправильно рассчитанных технологических режимов и т.д. Влияние таких погрешностей не учитывается при построении модели, но принимаются все меры к их предупреждению.

В производстве все погрешности проявляются в совокупности и вызываются в основном следующими факторами:

- а) погрешностями в работе технологического оборудования, обусловленными дефектами электрических, механических и оптических узлов установок;
- б) неточностью приспособлений и технологической оснастки, обусловленной в основном недостаточной их жесткостью, нарушением конфигурации и размеров, неправильной установкой в оборудовании и т.д.;
- в) неоднородностью электрофизических, механических и прочих свойств материалов и заготовок изделий;
- г) субъективными ошибками оператора при настройке оборудования и поддержания режимов его работы;
- д) метрологическими ошибками в результате неточности работы измерительных средств при контроле параметров качества изделий.

Наиболее полно случайные погрешности могут быть оценены, например, функцией их распределения. При этом поступают следующим образом: для выяснения закона распределения случайных погрешностей (если он существует) обращаются к многократ-

ным наблюдениям с последующей статистической обработкой полученного опытного материала.

Функция распределения погрешностей является как бы индикаторной диаграммой технологического процесса, по которой можно произвести объективную математическую оценку его качества. Функция распределения позволяет судить о точности и стабильности технологического процесса, а также фиксировать его нарушение, причём различают конструктивную и технологическую точность. Конструктивная точность характеризуется величиной допусков параметров качества изделия, а технологическая - степенью соответствия фактических отклонений параметров качества допустимым согласно чертежам, техническим условиям или другой конструкторско-технологической документации на изделие.

3 КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Одна из оценок точности изготовления радиоэлектронной аппаратуры - вероятность (Р) выхода годных изделий, параметры качества которых находятся в пределах установленного поля допуска. Оценка эта называется - процент выхода годных изделий и при гауссовском законе распределения параметра качества определяется как площадь, ограниченная кривой и полем установленного допуска.

Для оценки влияния случайной составляющей производственных погрешностей на точность технологических операций используется коэффициент точности:

$$T = \frac{2 \cdot \varepsilon}{k \cdot S} \quad (3.1)$$

где ε - абсолютная величина половины поля допуска на параметр качества;

k - коэффициент, зависящий от типа закона распределения погрешностей параметров качества изделий (для гауссовского закона распределения $k = 6$, для закона равной вероятности $k = 3.46$ и т. д.);

S - стандартное отклонение значений параметра качества.

Очевидно, чем меньше T , тем ниже точность, т. е. тем большее число изделий попадёт в брак. Если T значительно больше единицы, то требования к точности завышены и допуск на параметр качества может быть уменьшен.

Сказанное подтверждается с помощью рисунка 3.1, на котором изображены распределения погрешностей параметров качества изделий X , подчиняющиеся гауссовскому закону, при различных полях рассеяния погрешностей, заданном поле допуска 2ε и центре группирования погрешностей X , совпадающем с серединой поля допуска. Для оценки влияния систематической составляющей производственных погрешностей на точность технологического процесса используется коэффициент смещения:

$$E = \frac{\Delta}{2 \cdot \varepsilon}, \quad (3.2)$$

где Δ - величина смещения центра группирования погрешностей X (среднего арифметического значения) относительно номинала, характеризующая систематическую составляющую производственных погрешностей.

На рисунке 3.2 приведены распределения погрешностей параметров качества изделий, подчиняющиеся гауссовскому закону, при одинаковых $T=1$, но разных E .

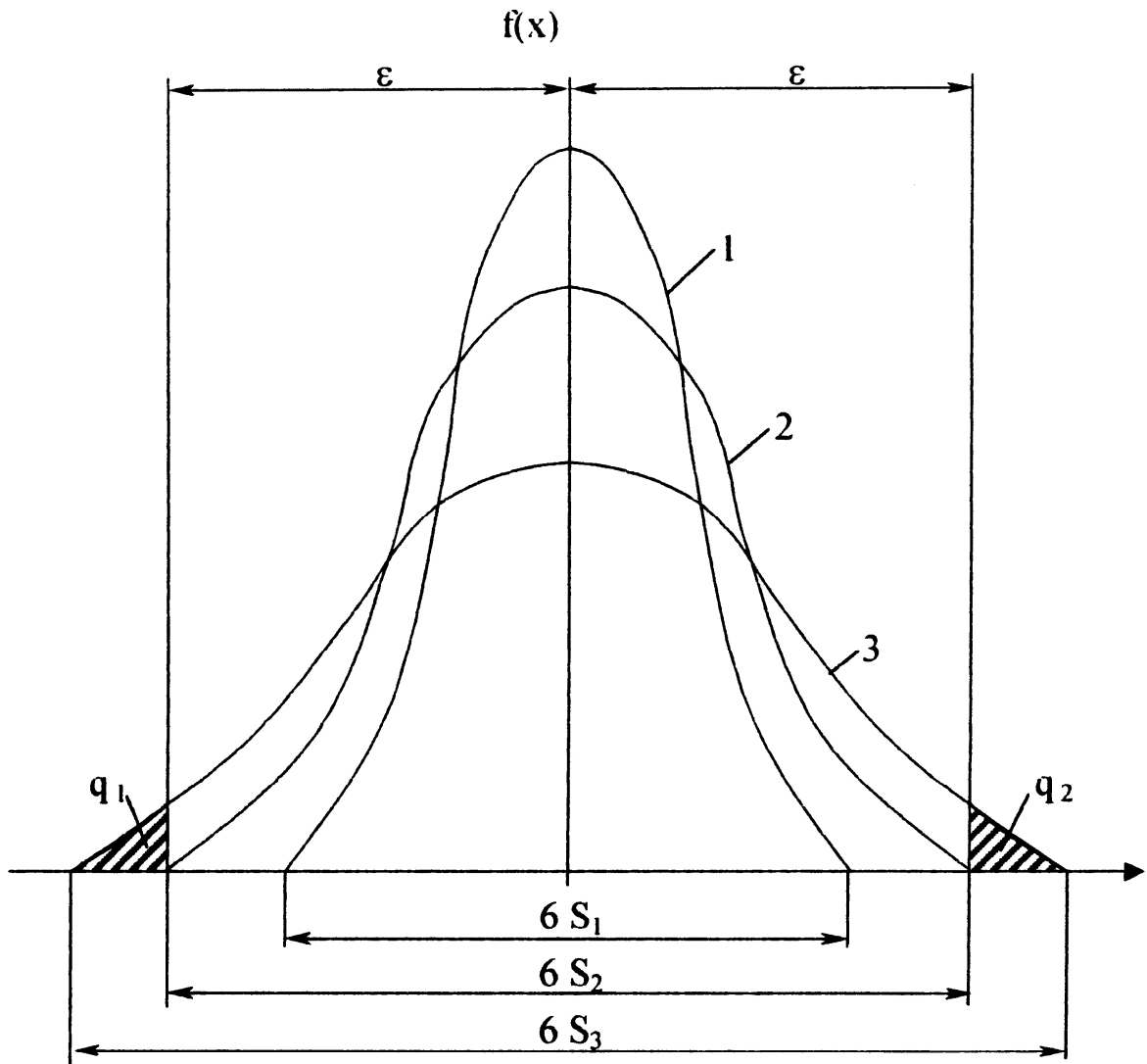
Чем меньше E , тем меньше влияние систематических погрешностей, т.е. тем выше точность исследуемого процесса (операции).

Все три оценки точности (вероятность выхода годных изделий P , коэффициенты точности T и смещения E) взаимосвязаны. В общем случае:

$$P = f(T, E) \quad (3.3)$$

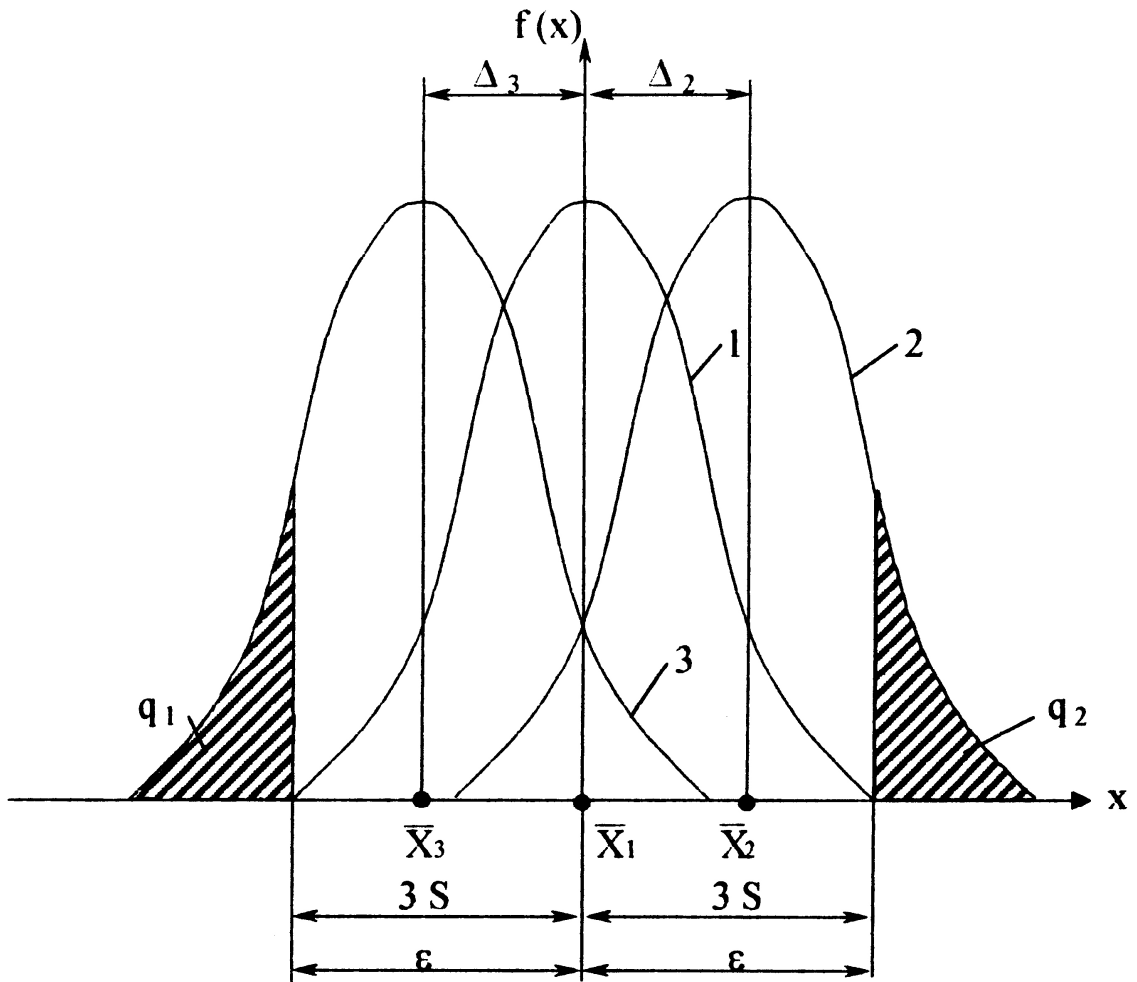
На практике для расчётов используют таблицы, в которых P определяется по величинам T и E (таблица А1 приложения). Оценки точности учитывают не только соотношение между полями допуска и рассеяния погрешностей, но и закон их распределения, что имеет важное значение. Так, таблица А1 приложения приведена для случая гауссовского закона распределения.

По известному закону распределения погрешностей можно выявить физическую сущность источников погрешностей, приводящую к данному распределению. Для оценки точности технологического процесса часто используется гистограмма или полигон распределения.



Кривая 1 - $T > 1$; кривая 2 - $T = 1$; кривая 3 - $T < 1$; q_1 и q_2 - относительные количества изделий, параметры качества которых выходят за границы поля допуска 2ϵ

Рисунок 3.1 - Гауссовские распределения погрешностей параметров качества изделий при различных значениях коэффициента точности



Кривая 1 – $E = 0$; кривая 2 – $E > 0$; кривая 3 – $E < 0$; q_1 и q_2 - относительные количества изделий, параметры качества которых выходят за границы поля допуска 2ϵ

Рисунок 3.2 - Гауссовские распределения погрешностей параметров качества изделий при различных значениях коэффициента смещения

4 ПОСТРОЕНИЕ ГИСТОГРАММЫ

Из генеральной (достаточно большой) совокупности объектов (процессов) извлекают некоторую выборку (сравнительно небольшую её часть), которую подробно исследуют. Полученные при этом данные используют затем для описания основных характеристик всей генеральной совокупности.

Обычно выборку заданного объёма выбирают случайно, вследствие чего все числовые характеристики такой выборки (как и сама выборка) являются случайными величинами со своими распределениями.

Первичной и наиболее простой формой записи статистической информации является простой статистический ряд, представляющий в общем случае некоторую совокупность n реализаций X_i ($i=1,2,3,\dots,n$) случайной величины X , т. е. $X=\{X_1,X_2,\dots,X_n\}$. Если наблюдаемые значения случайной величины X расположить в возрастающем порядке, например так, чтобы $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$, то такую последовательность реализаций X называют вариационным рядом. Вариационный ряд выражает закономерности исследуемого процесса. Будучи представлен графически, он позволяет приближенно оценить функцию распределения наблюдаемого параметра.

В большинстве практических случаев удобнее вычислять характеристики кривой распределения параметра не по данным вариационного ряда, а по данным, предварительно сгруппированным в интервалы значений интересующего нас параметра. При таком подходе возникает необходимость в переходе от вариационного ряда к интервальному ряду распределения погрешностей. При этом поступают следующим образом: из всех наблюдаемых значений X определяют его максимальное (X_{\max}) и минимальное (X_{\min}) значения. Разность этих значений R принимают за размах варьирования, т. е.

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (4.1)$$

Для перехода к интервальному ряду внутри размаха варьирования R необходимо определить количество интервалов N и их ширину ΔX . Величину N определяют обычно из условия, чтобы в каждый интервал попало в среднем не менее 10 значений X_i , т. е.

$$N = 0,1 n, \quad (4.2)$$

где n - общее число наблюдений.

Ширину интервалов ΔX определяют из соотношения:

$$\Delta X = R / (0,1n - 1). \quad (4.3)$$

Границы интервального ряда выбирают обычно большими R на величину ΔX . За нижнюю границу принимают величину:

$$X_{\min} - 0,5 \Delta X,$$

за верхнюю

$$X_{\max} + 0,5 \Delta X.$$

Интегральный ряд распределения целесообразно свести в таблицу, вид которой представлен таблице 4.1.

Таблица 4.1- Интегральный ряд распределения

Номер интервала	Границы интервалов	X_j	m_i	m_i / n
1	$(X_{\min} - 0,5 \Delta X) \div (X_{\min} + 0,5 \Delta X)$	X_{\min}	m_1	m_1 / n
2	$(X_{\min} + 0,5 \Delta X) \div (X_{\min} + 1,5 \Delta X)$	$X_{\min} + \Delta X$	m_2	m_2 / n
...
N	$(X_{\max} - 0,5 \Delta X) \div (X_{\max} + 0,5 \Delta X)$	X_{\max}	m_N	m_N / n
Проверочные соотношения			$\sum_{i=1}^N m_i = n$	$\sum_{i=1}^N m_i / n = 1$

В таблице 4.1 X_j - означают середины интервалов значений случайной величины X ; j - номер интервала; N - количество интервалов; m_i - количество значений исследуемого параметра, попавших в j -й интервал (частота попадания в интервал), m_i / n - частота значений исследуемого параметра, т.е. отношение частоты попадания параметра в j - й интервал к общему числу наблюдений.

Интервальные ряды распределений параметров представляют графически в виде гистограмм и полигона распределения погрешностей. Построение осуществляют следующим образом. Предполагают, что частота m_i / n значений исследуемого параметра внутри каждого (из N) интервала остаётся постоянной и изменяется скачком лишь на границах этого интервала. На оси абсцисс откладывают интервалы значений исследуемого параметра, над каждым из которых строится прямоугольник. Его площадь пропорциональна частоте значений параметра в данном интервале. Суммарная же площадь, ограниченная гистограммой, равна единице. Гистограмма несколько искажает реальный характер кривой распределения, но тем меньше, чем более мелкими выбраны интервалы.

Пример построения гистограммы приведен на рисунке 4.1.

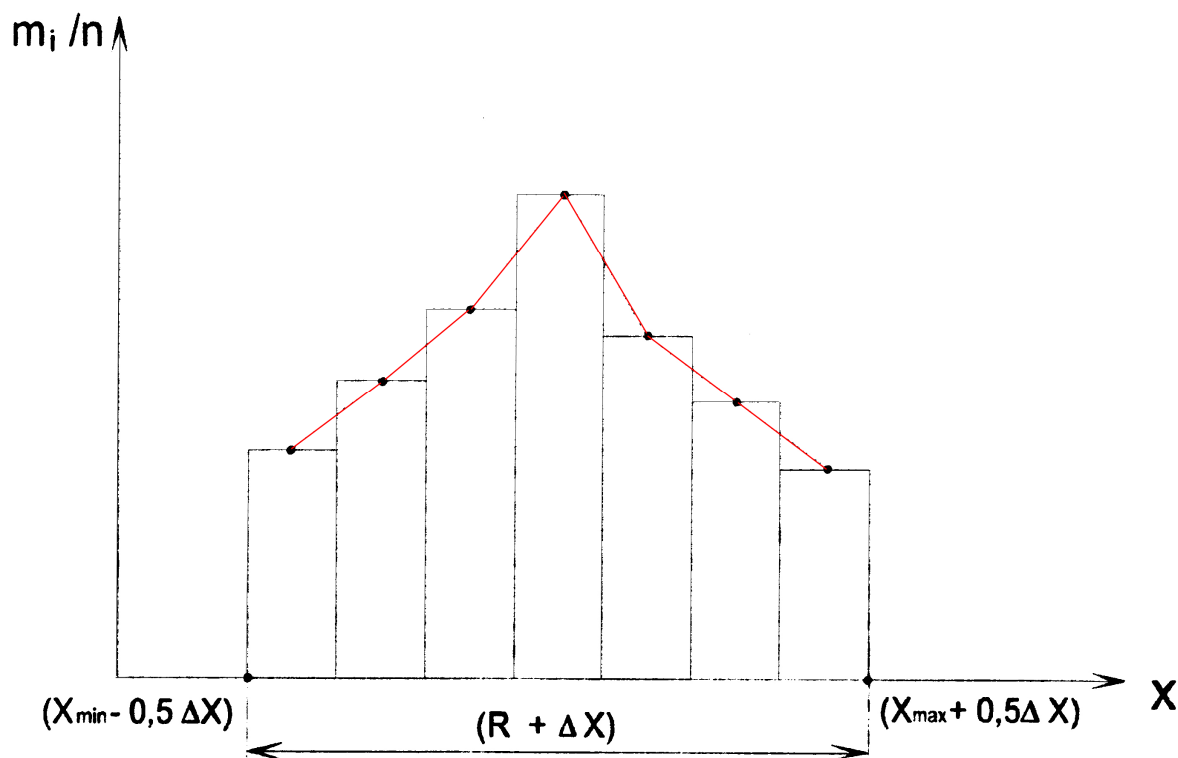


Рисунок 4.1 - Гистограмма и полигон распределения производственной погрешности

Более точным и близким к действительности является предположение о равномерном изменении частоты наблюдаемого параметра при переходе от интервала к интервалу. Это предположение приводит к построению полигона распределения. Строят его следующим образом: середины интервалов распределений соединяют ломаной линией (рисунок 4.1).

Среднее значение интервального ряда \bar{X} оценивают выражением:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^N X_j \cdot m_i \quad (4.4)$$

Среднеквадратическое отклонение интервального ряда $\sigma(X)$ вычисляют по формуле:

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2 \cdot m_i} \quad (4.5)$$

\bar{X} и $\sigma(X)$ являются оценками практических (реально наблюдаемых) кривых распределения интересующих исследователя параметров. Эти оценки сравнивают с аналогичными требованиями технических условий на изделие. В случае их соответствия делают вывод о том, что наблюдаемый процесс протекает нормально и его производственные погрешности находятся в пределах, установленных допуском.

5 СТАБИЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Анализ технологического процесса только по критериям точности может оказаться недостаточным ввиду того, что в нем не учитывается фактор времени. Поэтому необходимо ввести понятие устойчивости и стабильности технологического процесса.

Устойчивостью технологического процесса называют его свойство сохранять точность параметров качества изделий во времени, а стабильностью - его свойство сохранять постоянными во времени параметры и закон распределения погрешностей параметров качества изделий.

Стабильность технологического процесса - более общий показатель, так как устойчивый процесс может быть и нестабильным. Процесс нельзя считать стабильным, если малые отклонения параметров закона распределения достигаются за счёт периодической подстройки процесса. Оценка стабильности технологического процесса осуществляется выборочным методом. При этом используются текущие выборки, извлекаемые по ходу технологического процесса и дающие мгновенные значения распределений производственных погрешностей.

Мгновенным распределением $f_1(X)$ называется распределение значений X_i случайной величины X за столь малый отрезок времени Δt , в течение которого воздействие всех внешних факторов остаётся неизменным. В отличие от мгновенного существует полное (суммарное) распределение производственных погрешностей. Полным распределением называется распределение производственных погрешностей параметров качества одной или нескольких партий изделий, полученных за некоторый сравнительно большой промежуток времени Δt .

В нестабильном технологическом процессе полное распределение по численным характеристикам и даже по форме закона распределения отличается от мгновенного из-за воздействия различных факторов, меняющихся во времени и преобразующих распределение.

На практике стабильность технологических процессов часто оценивается с помощью контрольных карт. Однако такая оценка является приближенной. Точно о стабильности технологических процессов можно судить лишь по точностным диаграммам.

На точностной диаграмме по оси абсцисс откладывают время, а по оси ординат - значения параметров качества. В отличие от контрольных карт на точностной диаграмме в поле координат изображаются зависимости центров группирования (средних значений), средних квадратических значений и полей рассеяния мгновенных распределений погрешностей параметра качества X от какого-либо аргумента t , например, времени.

Предполагается, что за рассматриваемый промежуток Δt вид закона мгновенного распределения не меняется.

Примеры построения точностных диаграмм технологического процесса приведены на рисунке 5.1 для различных законов изменения центров группирования, средних квадратических значений и полей рассеивания мгновенных распределений в интервале $t_0 - t_k$.

По виду точностной диаграммы и типу закона полного распределения можно судить о состоянии анализируемого процесса и выявить дестабилизирующие факторы.

Интенсивности изменения центров группирования [функция $a(t)$] и средних квадратических значений [функция $b(t)$] мгновенных распределений погрешностей позволяют количественно оценить стабильность процесса. Она определяется отношениями:

$$\lambda_a = l_a / \sigma_0, \quad \lambda_b = l_b / \sigma_0,$$

где l_a - половина диапазона изменения функции $a(t)$;

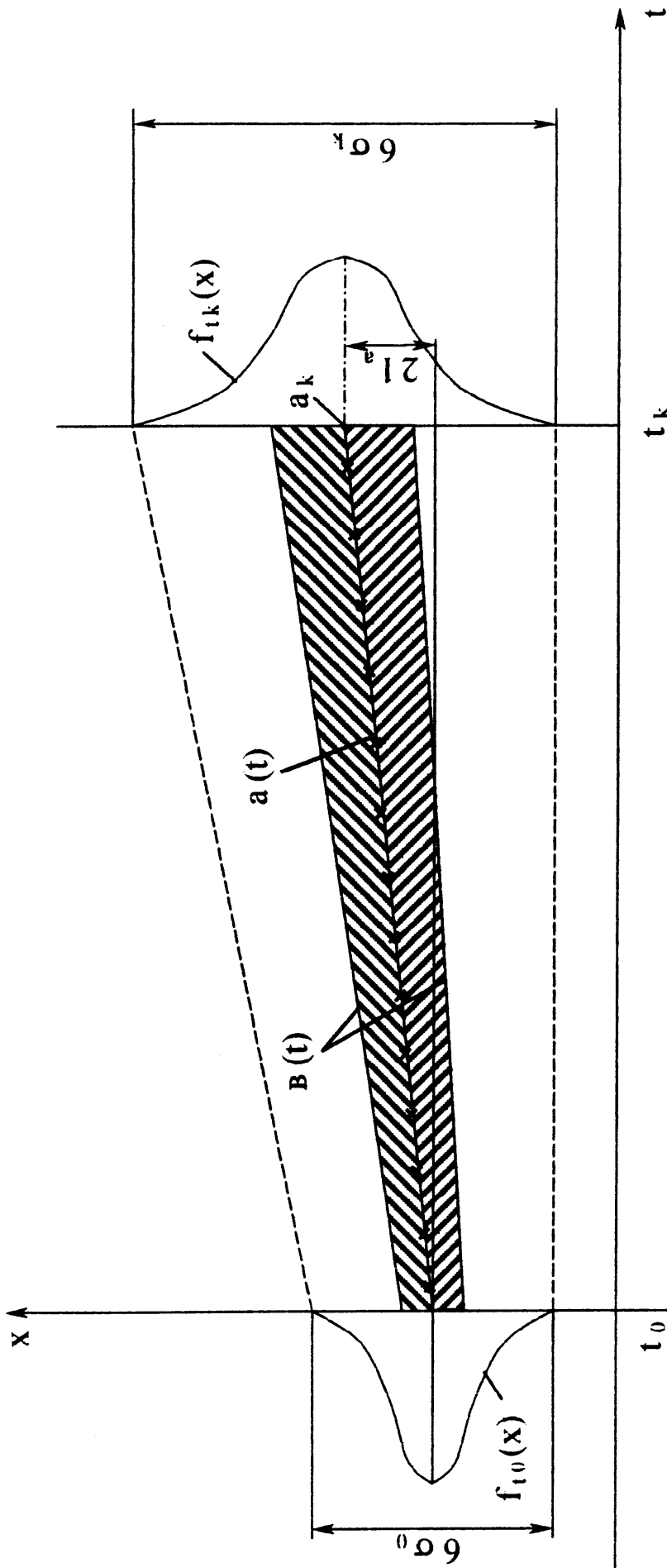
l_b - половина диапазона изменения функции $b(t)$;

σ_0 - среднее квадратическое значение параметра качества в начальный момент t_0 .

При стабильном технологическом процессе $\lambda_a = \lambda_b = 0$.

6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1 Получить у преподавателя вариант задания.



$a(t)$ — линия изменения среднего значения параметра качества; $b(t)$ — линия изменения среднего квадратического отклонения; $f_{t_0}(x)$ — гауссовское мгновенное распределение погрешностей параметра качества x , соответствующее начальному значению аргумента t_0 ; $f_{t_k}(x)$ — гауссовское мгновенное распределение погрешностей параметра качества x , соответствующее конечному значению аргумента t_k ; a_0, a_k — центры группирования погрешностей

Рисунок 5.1 — Точностная диаграмма технологического процесса

6.2 Провести измерения выходных параметров радиоэлементов для моментов времени $t = t_0$ и $t = t_1$.

6.3 Осуществить обработку результатов измерений методами математической статистики и теории вероятностей.

6.3.1 Записать данные измерений в вариационный ряд.

6.3.2 Представить вариационный ряд интервальным рядом, заполнив таблицу 4.1.

6.3.3 По выражениям (4.4) и (4.5) определить среднее значение \bar{X} и среднеквадратическое отклонение $\sigma(X)$ интервального ряда.

6.3.4 Построить гистограммы для момента времени t_0 и t_1 .

6.4 Построить точностную диаграмму.

6.5 Определить процент выхода годных P изделий.

6.6 Сделать выводы.

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

7.1 Наименование работы, цель.

7.2 Вариационные и интервальные ряды, приведённые в таблицах.

7.3 Результаты расчёта \bar{X} , $\sigma(X)$ и P .

7.4 Графики гистограмм для моментов времени t_0 и t_1 .

7.5 Точностная диаграмма.

7.6 Выводы.

8 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

8.1 Дать определения случайных и систематических производственных погрешностей.

8.2 Перечислить факторы, вызывающие производственные погрешности.

8.3 Что такое конструктивная и технологическая точность.

8.4 Критерии оценки точности технологического процесса.

8.5 Порядок построения гистограммы.

8.6 Порядок построения точностной диаграммы.

9 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

При проведении работы соблюдать правила электробезопасности для лиц, работающих с напряжением выше 36 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Глудкин О.П., Черняев В.Н. Анализ и контроль технологических процессов производства РЭА: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1983. - 296 с.: ил.

2 Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности ЭВА: Учебн. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1983. -312 с.: ил.

3 Буловский П.И., Зауер В. Технология элементов электронной аппаратуры. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1983. -221с.: ил.

Приложение А
(справочное)

Таблица А1 – Вероятность Р выхода годных изделий в зависимости от Т и Е (Гауссовский закон распределения)

Т	Е																		
	0,000	0,020	0,050	0,080	0,100	0,120	0,150	0,180	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500				
0,05	0,000	0,020	0,050	0,080	0,100	0,120	0,150	0,180	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500				
0,10	0,236	0,236	0,236	0,236	0,235	0,235	0,235	0,234	0,234	0,233	0,232	0,231	0,229	0,228	0,226				
0,15	0,347	0,347	0,347	0,346	0,346	0,345	0,344	0,343	0,342	0,339	0,336	0,332	0,327	0,322	0,316				
0,20	0,452	0,451	0,451	0,450	0,450	0,447	0,445	0,442	0,440	0,434	0,426	0,418	0,408	0,397	0,385				
0,25	0,547	0,547	0,546	0,544	0,542	0,540	0,535	0,530	0,527	0,516	0,503	0,488	0,471	0,453	0,433				
0,30	0,632	0,632	0,630	0,627	0,624	0,621	0,615	0,608	0,602	0,585	0,566	0,543	0,519	0,492	0,464				
0,35	0,706	0,706	0,704	0,699	0,696	0,691	0,683	0,672	0,665	0,642	0,616	0,586	0,554	0,519	0,482				
0,40	0,770	0,769	0,766	0,761	0,757	0,751	0,740	0,727	0,718	0,696	0,657	0,620	0,579	0,536	0,492				
0,42	0,792	0,792	0,789	0,783	0,778	0,772	0,760	0,747	0,736	0,706	0,671	0,631	0,588	0,542	0,494				
0,45	0,823	0,823	0,819	0,813	0,807	0,801	0,788	0,773	0,762	0,729	0,690	0,646	0,599	0,549	0,496				
0,48	0,850	0,849	0,846	0,839	0,833	0,826	0,813	0,796	0,784	0,749	0,707	0,660	0,608	0,554	0,498				
0,50	0,866	0,866	0,862	0,855	0,849	0,842	0,828	0,811	0,798	0,761	0,718	0,668	0,614	0,557	0,499				
0,55	0,9011	0,900	0,896	0,889	0,883	0,874	0,860	0,842	0,828	0,789	0,741	0,687	0,628	0,565	0,499				
0,60	0,9281	0,927	0,923	0,916	0,909	0,901	0,887	0,868	0,854	0,819	0,761	0,704	0,640	0,571	0,499				
0,65	0,9488	0,948	0,944	0,937	0,931	0,923	0,908	0,890	0,876	0,833	0,781	0,720	0,651	0,577	0,500				
0,70	0,9643	0,963	0,960	0,957	0,947	0,940	0,926	0,907	0,895	0,852	0,799	0,736	0,663	0,583	0,500				
0,75	0,9756	0,975	0,971	0,966	0,960	0,953	0,940	0,923	0,910	0,869	0,816	0,750	0,671	0,589	0,500				
0,80	0,9836	0,983	0,980	0,975	0,970	0,964	0,952	0,937	0,924	0,885	0,832	0,764	0,684	0,595	0,500				
0,85	0,9892	0,988	0,986	0,982	0,978	0,972	0,964	0,948	0,936	0,899	0,846	0,778	0,695	0,601	0,500				

Работа 2

**Методы изготовления печатных плат (4 часа, сам.
работа 4 часа)**

Содержание

1 ВВЕДЕНИЕ	3
2 ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	3
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	3
4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	5
5 РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА	6
5.1 Расчет минимального диаметра металлизированного отверстия.....	6
5.2 Расчет диаметра контактных площадок	9
5.3 Расчет ширины проводников.....	12
5.4 Расчет минимальных расстояний между элементами проводящего рисунка	13
6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	14
7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	15
8 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	15

1 ВВЕДЕНИЕ

В процессе выполнения данной лабораторной работы студенты должны закрепить основные теоретические знания по методам изготовления печатных плат (ПП). Ознакомиться с особенностями некоторых операций технологического процесса изготовления ПП и на конкретных примерах освоить маршрутную технологию изготовления ПП. Освоить методику расчета геометрических параметров печатного монтажа с учетом технологических ограничений.

2 ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется на ЭВМ с применением программы «Методы изготовления печатных плат» в ОС Windows.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

После запуска файла tech1.exe вы увидите стандартную форму ОС Windows. Ознакомьтесь с ее содержанием. Для полного понимания данной работы необходимо сначала изучить теорию. Для этого нажмите кнопку «Руководство» и прочтите пункт 2 «Конструктивно-технологические особенности печатных плат».

В случае возникновения неясностей по назначению кнопок, форм и прочих элементов, в программе предусмотрен справочный материал (кнопка «Справка» на основной форме программы).

ГОСТ 23751-86 устанавливает пять классов точности (плотности проводящего рисунка) ПП и гибких печатных кабелей (ГПК) в соответствии со значениями основных параметров и предельных отклонений элементов конструкции. Для удобства выполнения лабораторной работы ниже приведена таблица 3.1.

В качестве материалов для изготовления ПП применяют фольгированные и нефольгированные диэлектрики, прокладочную стеклоткань и электроизоляционную пленку для защиты ГГЖ (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Наименьшие номинальные значения основных размеров элементов конструкции ПП и ГПК для узкого места в зависимости от классов точности

Условное обозначение параметра	Номинальные значения основных размеров для класса точности				
	1	2	3	4	5
t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
γ	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

t — ширина проводника;

S — расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой или проводником и металлизированным отверстием;

b — расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки данного отверстия (гарантийный пояс);

γ — отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы.

Таблица 3.2 – Основные конструкционные материалы для изготовления ПП и ГПК

Вид материала, марка	Толщина		Назначение
	фольги, h_f , мкм	материала, мм	
Гетинакс фольгированный: ГФ - 1 -35 Огнестойкий ГОФ-2-50 Г Влагостойкий ГОФВ-2-35	35,50	1,5; 2,0; 2,5; 3,0 1,0; 1,5; 2,0 2,5; 3,0	ОПП, ДПП
Стеклотекстолит фольгированный: СФ-1(2)-35 Огнестойкий СФО-1(2)-35 СОНФ-1(2)-50 Тонкий ФДМ - 1А Травящийся ФТС - 1(2) Теплостойкий СТФ - 1(2) С тонкой фольгой СТПА -1	35,50 18,35 50 18,35 5 18,35 18,35 18,35	0,8; 1,0; 2,5; 3,0 0,8...3 0,8...3 0,2...0,35 0,08... 0,5 0,1...3 0,1...3	ОГШ, ДПП ОПП, ДПП МПП ДПП ОПП, ДПП

Вид материала, марка	Толщина		Назначение
Слофадит	5	0,5...3	ДПП, ГПП
Стеклотекстолит: с адгезионным слоем СТЭК С катализатором СТАМ	35,50	1,0...1,5 0,07... 2,0	ДПП
Фторопласт фольгированный: ФФ-4 Армированный ФАФ - 4Д	50	1,5...5 0,5...3	ОПП, ДПП ГПК
Керамика алюмооксидная 22ХС		0,5... 2	МПП
Лавсан фольгированный: ЛФ-1 ЛФ-2	35 50	0,05 0Д	ГПП ГПК
Стеклоткань прокладочная: СП- 1-0,025 Травящаяся СПТ - 3 - 0,06		0,025 0,06	МПП

4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В настоящее время применяют несколько методов изготовления печатных плат. В «Руководстве» прочтите пункт 3 «Методы изготовления печатных плат». Тщательным образом разберитесь с терминами, применяемыми для описания классификации методов, в том числе с рисунком 3.1, приведенным в том же пункте «Руководства».

Требуется обратить внимание, и, в дальнейшем, в процессе работы, учесть, какими именно оптимальными методами можно получить рисунок на ПП и изготовить односторонние ПП (ОПП), двусторонние (ДПП).

В «Руководстве» приведена схема технологического процесса изготовления ДПП химико-гальваническим аддитивным методом (рисунок 3.2). На данном этапе лабораторной работы необходимо ознакомиться с предложенной на этом рисунке схемой. В завершении работы, преподаватель предложит студентам промышленные образцы ПП, выполненные различными методами по типовым технологическим процессам и снятые с производства на той или иной технологической операции. По представленным образцам необходимо определить, каким методом изготовлена ПП, а также, какая именно операция технологического процесса соответствовала при снятием образца с производства.

5 РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Методика предназначена для расчета элементов печатного монтажа ОПШ и слоев многослойных ПП (МПП), изготавливаемых химическим методом, ДПП, изготавливаемых комбинированным позитивным и электрохимическим методами.

Расчет осуществляется уже непосредственно в программе и заключается в следующем. В каждом появляющемся окне необходимо ввести определенные выражения или присваивать необходимые числовые значения буквенным технологическим параметрам. Но разберем все по порядку.

После запуска программы вы увидите основную форму. Нажав кнопку «Далее», укажите номер варианта задания, затем, какие предельные значения технологических параметров будет «брать» программа из диапазона представленных — минимальные, средние, максимальные. Это такие технологические параметры как, толщина металлического резиста h_p (мм), погрешность базирования плат на сверлильном станке δ_6 (мм), погрешность расположения относительно координатной сетки на фотошаблоне проводника $\delta_{шт}$ (мм) и прочее. Все технологические параметры и их значения уже внесены в программу, а также они есть в «Руководстве» (пункт 4.1 – Выбор параметров печатного монтажа), поэтому нет необходимости присваивать цифровые значения буквенным обозначениям, которые встретятся, например, в формулах расчета размеров D и t ($h_p, \delta_6, \delta_{шт}, \Delta d \delta_3, \delta_0$ и т. д.).

Предельные значения технологических параметров получены в результате анализа производственных данных и экспериментальных исследований точности отдельных операций. Максимальные значения параметров соответствуют применению оборудования и оснастки низкой точности, средние значения — применению оборудования высокой точности, максимальные значения учитываются для перспективного оборудования и оснастки.

5.1 Расчет минимального диаметра металлизированного отверстия

Для проведения расчетов в программе принят такой же способ вычислений как в программе математических вычислений MathCAD, т.е. всем буквенным выражениям должны быть присвоены численные зна-

чения. Например, минимальный диаметр металлизированного отверстия определяют по формуле:

$$d_{\min} \geq H_{\text{расч}} \cdot \gamma, \quad (5.1)$$

где $H_{\text{расч}}$ — толщина фольгированного диэлектрика платы, соответствующая стандартному ряду толщин для ОПП и ДПП, мм;

γ — отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы.

После того как выбрали тип платы, согласно заданию (ОПП, ДПП), выбрали метод изготовления ПП, материал основания платы, рассчитываем толщину платы по коэффициенту γ , используя формулу 5.1. Для этого в поле ввода выражения присваиваем γ (согласно таблице 3.1 и варианту задания) численное значение, например $\gamma = 0,4$ (обратите внимание, дробная часть отделяется от целой части точкой, а не запятой, как это обычно принято!). Для ввода греческих букв, таких как γ , Δ , δ , на панели справа имеются кнопки, соответствующие этим буквам. Затем вводим значение минимального диаметра металлизированного отверстия d_{\min} , согласно варианту задания. Имея необходимые числовые значения, вводим выражение для расчета уже непосредственно того, для чего все это делалось — толщины платы, т.е.:

$$H_{\text{расч}} = d_{\min} / \gamma. \quad (5.2)$$

Если все сделано корректно, то в нижнем поле (под полем для ввода выражений), увидим полученное численное значение толщины платы.

Нажимаем кнопку «Далее» и вводим, ближайшее значение толщины платы из ряда, рекомендуемого отраслевым стандартом, согласно предыдущему расчетному значению. В зависимости от механических требований и метода изготовления номинальный размер толщины ПП следует выбирать равным 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Например, было получено значение 1,63 мм, следовательно, вводим значение толщины платы из рекомендуемого ряда $H = 1.5$ мм.

На этом простом примере было пояснено, как пользоваться вычислительной частью программы. Кроме того, у всех применяемых в программе кнопок имеются всплывающие подсказки, объясняющие назначение той или иной кнопки.

Для автоматического занесения формулы в пункт отчета «Основные расчетные формулы» поставьте галочку в соответствующем поле. При выводе отчета на печать «отмеченная» формула (или какое-либо

выражение, если сочтете его необходимым) будет отражено в разделе 3 отчета «Основные расчетные формулы». Все остальные расчеты, выражения и прочее будут внесены в отчет в раздел 4 «Результаты расчета».

Таблица 5.1 – Последовательность технологических процессов изготовления ОПП и ГПК

Основные технологические операции	Субтрактивный метод		Аддитивный метод
	ОПП	ГПК	ОПП
Входной контроль диэлектрика	+	+	+
Получение заготовок	+	+	+
Образование базовых отверстий	+	—	4-
Активация поверхности диэлектрика	—	—	+
Фотосенсибилизация диэлектрика	+
Создание защитного рельефа	+	+	+
Химическая металлизация диэлектрика	-.	—	+
Термообработка платы	-.	—	+
Травление меди с пробельных мест	+	4-	—
Удаление защитного рельефа	+	+	~
Образование необходимых отверстий	+	—	+
Подготовка поверхности платы перед	-	+	-
Приклеивание защитной пленки (лавсана)	—	+	—
Травление лавсана в зоне выводов	~	+	—
Обработка контура	+	+	+
Маркировка платы	+	+	+
Нанесение защитного покрытия на плату	+	—	+
Лужение выводов	—	+	—
Контроль печатной платы	+	+	+
Примечание: «+» – наличие операции; «~» – отсутствие операции.			

Проделанную лабораторную работу можно сохранить (кнопка на основной панели с изображением дискеты). В сохраненный файл войдут все введенные формулы, расчеты, выбранные методы и т.д., в том числе и отчет с выводами, а формат файла будет «пониматься» только этой программой. Следует отметить, что, как и все программы под Windows, программа лабораторной работы поддерживает буфер обмена памяти (Clipboard).

5.2 Расчет диаметра контактных площадок

Минимальный диаметр контактной площадки определяют из условия сохранения целостности контактной площадки (отсутствие разрыва) при сверлении плат. При этом учитывают явление подтравливания и разрачивания проводящего слоя, погрешности относительного расположения отверстия и контактной площадки («Руководство», пункт 3 — Методы изготовления ПП, рисунки 3.3, 3.4 и пункт 4.3 — Расчет диаметра контактных площадок, рисунок 4.1).

Расчет следует начинать с определения эффективного минимального диаметра контактной площадки по формуле

$$D_{\min} = 2 \left(b + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_{\text{отв}} + \delta_{\text{кп}} \right), \quad (5.3)$$

где d_{\max} — максимальный диаметр просверленного отверстия, мм;

$\delta_{\text{отв}}$ — погрешность расположения отверстия, мм;

b — расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки данного отверстия, мм;

$\delta_{\text{кп}}$ — смещение центра контактной площадки, мм.

При расчете минимального эффективного диаметра контактной площадки D_{\min} принимают величину b в соответствии с рассматриваемым классом точности платы.

Максимальный диаметр монтажного отверстия равен

$$d_{\max} = d_{\text{св}} + \Delta d, \quad (5.4)$$

где Δd определяется точностью изготовления сверла и его биения.

В свою очередь рассчитывают

$$d_{\text{св}} = d_{\text{мотв}} + (0,1...0,15), \quad (5.5)$$

где $d_{\text{мотв}}$ — диаметр металлизированного отверстия.

При этом $d_{\text{мотв}}$ выбирают из ряда, рекомендуемого отраслевым стандартом, и с учетом собираемости со штыревыми выводами электрорадиоэлементов и интегральных микросхем. Следует отметить, что коэффициент 0,1...0,15 это величина усреднения и учитывает минимально допустимую толщину слоя гальванической меди 25 мкм, слой металлорезиста, усадку отверстия после сверления, а также возможный разброс толщины при гальваническом осаждении меди и металлорезиста.

Погрешность расположения отверстия определяется как

$$\delta_{\text{отв}} = \delta_o + \delta_\delta, \quad (5.6)$$

и учитывает неточности сверления станка и погрешности базирования платы на станке.

Смещение центра контактной площадки зависит от точности расположения ее рисунка на шаблоне, погрешности экспонирования, погрешности расположения базовых отверстий в фотошаблоне и заготовке платы и определяется как:

$$\delta_{\text{кп}} = \delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{з}} + \frac{1}{2}(\delta_{\text{п}} + \delta_{\text{з}}). \quad (5.7)$$

Расчет минимального диаметра контактных площадок производят для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых комбинированным позитивным методом при фотохимическом способе получения рисунка по формуле

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5(h_{\text{ф}} + h_{\text{пм}}) + h_{\text{р}}, \quad (5.8)$$

а при сеточнографическом способе получения рисунка по формуле

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5(h_{\text{ф}} + h_{\text{пм}}) + h_{\text{р}} + h_{\text{т}}. \quad (5.9)$$

Для электрохимического (полуаддитивного) метода изготовления ДПП и наружных слоев МПП при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5h_{\text{пм}} + h_{\text{р}}, \quad (5.10)$$

а при сеточнографическом способе получения рисунка по формуле

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5h_{\text{пм}} + h_{\text{р}} + h_{\text{т}}. \quad (5.11)$$

Коэффициент 1,5 в формулах расчета минимальных диаметров контактных площадок отражает тот факт, что при струйном направлении травления боковые подтравливания несколько меньше, чем величина травления по глубине.

Максимальные размеры контактных площадок зависят от точности экспонирования. Формулы для их расчета в зависимости от метода изготовления печатной платы и способа получения рисунка печатного монтажа приведены в таблицах 5.3 и 5.4.

Таблица 5.2 – Последовательность технологических процессов изготовления ДШП

Основные технологические операции	МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ					Фотоформирование
	Комбинированный	Полуаддитивный		Аддитивный		
		На диэлектрике	На метал. основании			
Входной контроль диэлектрика	+	+	+	+	+	+
Получение заготовок	+	+	+	+	+	+
Образование базовых отверстий	+	+	+	+	+	+
Образование отверстий под металлизацию	+	+	+	+	+	+
Нанесение диэлектрического покрытия	~	—	—	+	—	—
Сенсибилизация и активация поверхности диэлектрика	-	+	+	+	-	+
Химическая металлизация диэлектрика	4-	+	+	+	—	—
Гальваническая металлизация рисунка	+	+	+	+	—	—
Фотосенсибилизация диэлектрика	—	—	~	~	~	+
Активация поверхности диэлектрика	—	—	—	—	+	—
Химическая металлизация диэлектрика	—	—	—	—	+	+
Гальваническая металлизация рисунка	+	+	+	+	—	~
Нанесение металлорезиста на рисунок	+	+	+	+	+	—
Удаление защитного рельефа	+	+	+	+	-1-	—
Термообработка платы	-	—	—	—	+	+
Травление меди с пробельных мест	+	+	+	+	+	—
Оплавление металлорезиста	+	+	+	+	—	—
Обработка контура	+	+	+	+	+	+
Маркировка платы	+	+	+	+	+	+
Контроль печатной платы	+	+	+	+	-1-	+
Нанесение защитного технологического покрытия	+	+	+	+	+	+

5.3 Расчет ширины проводников

Расчет ширины проводника t ведется из условия сохранения достаточной прочности сцепления проводника с диэлектриком, зависящей от адгезионных свойств материала основания и гальваностойкой фольги. Минимальная эффективная ширина проводника $t_{1\min}$ определена экспериментально и равна 0,18 мм для плат первого и второго классов. Для плат, изготавливаемых электрохимическим (полуаддитивным) методом, она принимается равной 0,15 мм.

Расчетные формулы для определения максимальных размеров ширины проводников для различных методов изготовления приведены в таблицах 5.3, 5.4.

Таблица 5.3 – Основные формулы для расчета диаметра контактных площадок (D), ширины проводников (t) и соответствующих размеров шаблонов (D_{III} , t_{III})

Обозначение	Химический метод	Комбинированный метод	
		Фотохимический способ	Сеточно-графический способ
D_{\min}	$D_{1\min} + 1,5h_{\Phi}$	$D_{1\min} + 1,5(h_{\Phi} + h_{\text{ПМ}}) + h_{\text{р}}$	$D_{1\min} + 1,5(h_{\Phi} + h_{\text{ПМ}}) + h_{\text{Г}} + h_{\text{р}}$
t_{\min}	$t_{1\min} + 1,5h_{\Phi}$	$t_{1\min} + 1,5(h_{\Phi} + h_{\text{ПМ}}) + h_{\text{р}}$	$t_{1\min} + 1,5(h_{\Phi} + h_{\text{ПМ}}) + h_{\text{Г}} + h_{\text{р}}$
$D_{III \min}$	$D_{\min} + \Delta \text{Э}$	$D_{\min} - h_{\text{р}}$	$D_{\min} - (h_{\text{р}} + h_{\text{Г}})$
$t_{III \min}$	$t_{\min} + \Delta \text{Э}$	$t_{\min} - h_{\text{р}}$	$t_{\min} - (h_{\text{р}} + h_{\text{Г}})$
$D_{III \max}$	$D_{III \min} + \Delta D_{III}$	$D_{III \min} + \Delta D_{III}$	$D_{III \min} + \Delta D_{III}$
$t_{III \max}$	$t_{III \min} + \Delta t_{III}$	$t_{III \min} + \Delta t_{III}$	$t_{III \min} + \Delta t_{III}$
D_{\max}	$D_{III \max} + \Delta \text{Э}$	$D_{III \max} + h_{\text{р}} + \Delta \text{Э}$	$D_{III \max} + (h_{\text{р}} + h_{\text{Г}}) + \Delta \text{Э}$
t_{\max}	$t_{III \max} + \Delta \text{Э}$	$t_{III \max} + h_{\text{р}} + \Delta \text{Э}$	$t_{III \max} + (h_{\text{р}} + h_{\text{Г}}) + \Delta \text{Э}$

Таблица 5.4 – Основные формулы для расчета диаметра контактных площадок (D), ширины проводников (t) и соответствующих размеров шаблонов (D_{III} , t_{III})

Обозначение	Электрохимический (полуаддитивный) метод с получением рисунка	
	Фотохимический способ	Сеточно-графический способ
D_{\min}	$D_{1\min} + 1,5h_{\text{ПМ}} + h_{\text{р}}$	$D_{1\min} + 1,5h_{\text{ПМ}} + h_{\text{Г}} + h_{\text{р}}$

T_{\min}	$t_{1\min} + 1,5h_{\text{ПМ}} + h_p$	$t_{1\min} + 1,5h_{\text{ПМ}} + h_r + h_p$
$D_{\text{ш}} \min$	$D_{\min} - h_p$	$D_{\min} - (h_p + h_r)$
$t_{\text{ш}} \min$	$t_{\min} - h_p$	$t_{\min} - (h_p + h_r)$
$D_{\text{ш}} \max$	$D_{\text{ш}} \min + \Delta D_{\text{ш}}$	$D_{\text{ш}} \min + \Delta D_{\text{ш}}$
$t_{\text{ш}} \max$	$t_{\text{ш}} \min + \Delta t_{\text{ш}}$	$t_{\text{ш}} \min + \Delta t_{\text{ш}}$
D_{\max}	$D_{\text{ш}} \max + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$D_{\text{ш}} \max + (h_p + h_r) + \Delta \mathcal{E}$
T_{\max}	$t_{\text{ш}} \max + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$t_{\text{ш}} \max + (h_p + h_r) + \Delta \mathcal{E}$

5.4 Расчет минимальных расстояний между элементами проводящего рисунка

Минимальный зазор между элементами определяется заданным уровнем сопротивления изоляции при рабочем напряжении схемы или техническими требованиями к печатным платам. Фактический зазор между элементами проводящего рисунка зависит от шага элементов, их максимальных размеров и точности расположения относительно заданных координат.

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой

$$S_{1\min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{кп}} \right) + (t_{\max} + \delta_{\text{шт}}) \right], \quad (5.12)$$

где L_0 — расстояние между центрами рассматриваемых элементов, мм.

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta_{\text{кп}}). \quad (5.13)$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками

$$S_{3\min} = L_0 - (t_{\max} + 2\delta_{\text{шт}}). \quad (5.14)$$

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой на фотошаблоне

$$S_{4\min} = L_0 - \left[\left(\frac{D_{\text{ш}} \max}{2} + \delta_{\text{кп}} \right) + \left(\frac{t_{\text{ш}} \max}{2} + \delta_{\text{шт}} \right) \right]. \quad (5.15)$$

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками на фотошаблоне

$$S_{5\min} = L_0 - (D_{\text{ш}} \max + 2\delta_{\text{кп}}). \quad (5.16)$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками на фотошаблоне

$$S_{6\min} = L_0 - (t_{\text{шmax}} + 2\delta_{\text{шт}}). \quad (5.17)$$

Формулы для расчета узких мест, в частности для определения минимального расстояния (l_{\min}) между элементами проводящего рисунка, необходимого для прокладки определенного количества проводников (n), приведены в таблице 5.5.

6 ПОРЯДОК ВЫШОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Запустив программу tech1.exe, обратите внимание на тип платы, соответствующий вашему варианту задания (рисунок конструкции печатной платы приведен внизу, на этой же форме программы).

Нажимая последовательно кнопку «Далее» переходим к следующим пунктам выполнения лабораторной работы.

6.1 Определить тип платы по схеме ее конструкции.

6.2 Выбрать метод изготовления ПП.

6.3 Выбрать материал платы и «Далее» произвести расчет толщины платы, руководствуясь пунктом 5.1 данного методического пособия.

6.4 Рассчитать диаметры контактных площадок (D) и ширину проводников (t) элементов печатного монтажа с учетом технологических ограничений.

6.5 «Далее» рассчитать минимальные расстояния узких мест рисунка ПП (l_{\min}) при заданном преподавателем числе проводников (n) по формулам в таблице 5.5 или решить обратную задачу — рассчитать число проводников при условии l_{\min} равного кратному значению шага координатной сетки.

6.6 Представить эскизы узких мест с изображением всех геометрических параметров печатного монтажа, рассчитанных в предыдущих пунктах.

6.7 Выбрать из представленного набора последовательность основных операций технологического процесса изготовления печатной платы.

6.8 Написать выводы по проделанной лабораторной работе.

6.9 Вывести отчет на печать.

По указанию преподавателя определить разрешающую способность печатного монтажа на тест-плате ТТ1 и увязать ее с классом плотности монтажа, а также ответить на контрольные вопросы.

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе в необходимой последовательности генерируется непосредственно в программе. Предварительный просмотр отчета можно сделать, нажав кнопку на основной форме «Отчет».

8 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

8.1 Указать отличительные особенности различных типов печатных плат.

8.2 Какие известны методы изготовления печатных плат?

8.3 Назвать области применения печатного монтажа.

8.4 Указать последовательность технологических операций при изготовлении печатных плат различными методами.

8.5 Как определяется разрешающая способность?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Технологии в производстве электроники. Ч. 3. Гибкие печатные платы / под ред. А.М. Медведева, Г.В. Мылова. – М. : Группа ИДТ, 2008. – 488 с.

2 Медведев А.М. Технологические процессы в производстве печатных плат. – М. : Техносфера, 2006.

3 Кофанов Ю.Н., Сарафанов А.В., Трегубов С.И. Автоматизация и проектирование РЭС. Топологическое проектирование печатных плат. – М. : Радио и связь, 2001. – 220 с.

4 Сборник задач и упражнений по технологии РЭА : учеб. пособие / под ред. Е. М. Парфенова. – М. : Высшая школа, 1982. – 255 с.

5 ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции.

Работа 3

**Исследование индуктивных и ёмкостных параметров
печатного монтажа (4 часа, сам. работа 4 часа)**

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение.....	4
2	Основные положения.....	4
2.1	Расчет печатных конденсаторов с двухсторонним расположением обкладок.....	4
2.2	Расчет печатных конденсаторов с обкладками, расположенными на одной стороне основания.....	7
2.3	Расчет печатных индуктивностей.....	10
3	Порядок выполнения работы.....	12
4	Содержание отчета.....	13
5	Вопросы для самопроверки.....	13
6	Безопасность проведения работ.....	13
	Список использованных источников.....	14

1 ВВЕДЕНИЕ

При выполнении данной работы студенты должны закрепить основные теоретические знания по расчету печатных емкостей и индуктивностей. Ознакомиться с измерительной аппаратурой, методами расчета технологических погрешностей изготовления печатных емкостей и индуктивностей.

2 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Расчет печатных конденсаторов с двухсторонним расположением обкладок

Печатные конденсаторы и индуктивности могут использоваться в качестве сосредоточенных и распределенных компонентов электрической схемы. Они могут служить элементами колебательного контура, линий задержки, цепей связей каскадов схемы и т. д.

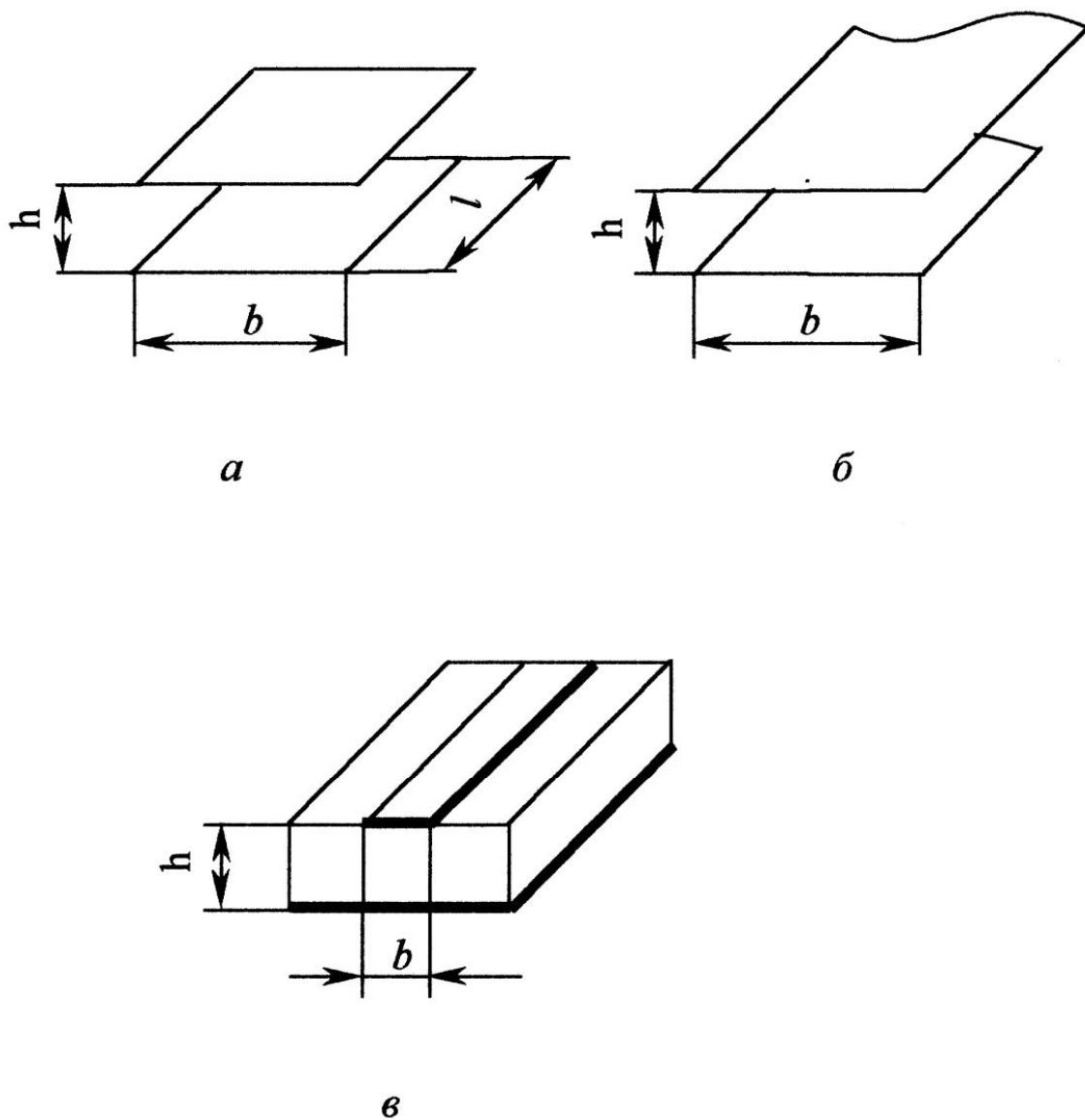
Емкость печатных конденсаторов $C_{пФ}$, расположенных на двухсторонней печатной плате (рисунок 2.1 а), может быть определена по формуле:

$$C=0,00884 \frac{\epsilon_d \cdot S}{d} , \quad (2.1)$$

где ϵ_d - диэлектрическая проницаемость основания;
 S - площадь обкладки конденсатора, мм^2 ;
 d - толщина изоляционного основания, мм .

Точность расчета $\pm 20\%$, так как не учитывается краевой эффект по границам пластин и влияние клеевого слоя . На практике обычно оказывается, что формула (2.1) позволяет получить дос-

товерные результаты при условии, что $\frac{S}{d} \gg 1$.



a – параллельные пластины;
б – длинные параллельные полоски;
в – печатный проводник и проводящая плоскость.

Рисунок 2.1- Виды конденсаторов.

Если обкладки приклеиваются к диэлектрику с помощью клеевых пленок толщиной d_k , обладающих проницаемостью ϵ_k , то емкость C , пФ, должна определяться из выражения

$$C=0,884 \frac{b \cdot l}{\frac{d_u}{\epsilon_u} + \frac{d_k}{\epsilon_k}}, \quad (2.2)$$

где b и l – ширина и длина печатного проводника, мм;
 d_u, d_k – толщина изоляционного основания и клеевой пленки, мм;

ϵ_u, ϵ_k – диэлектрическая проницаемость основания и клеевой пленки.

Для двух длинных параллельных полос одинаковой ширины (рисунок 2.1 б) емкость C , пФ/мм, на единицу длины определяется по формуле:

$$C=0,884 \epsilon_u \frac{b}{h} \left[1 + \frac{h}{\pi \cdot b} \left(1 + \lg \frac{2\pi \cdot b}{h} \right) \right], \quad (2.3)$$

где h – расстояние между пластинами, мм.

Выражение (2.3) точно для $h/b \ll 1$. С увеличением расстояния между проводниками точность падает: при $h/b=1$ ошибка составляет примерно 10%. При $h/b > 1$ нужно пользоваться следующей формулой

$$C=0,0278 \epsilon_u \frac{1}{\lg \frac{4h}{b}}, \quad (2.4)$$

Для достаточно длинных параллельных полос при условии, что $l > 3h$ и $b > 3h$, емкость C , пФ, определяются по выражению

$$C=0,884 \epsilon_u \frac{l \cdot b}{h} \left[1 + \frac{h}{\pi \cdot l} \left(1 + \lg \frac{2\pi \cdot l}{h} \right) \right] \left[1 + \frac{h}{\pi \cdot b} \left(1 + \lg \frac{2\pi \cdot b}{h} \right) \right], \quad (2.5)$$

Емкость C , пФ, между прямоугольной пластиной и металлической плоскостью при тех же ограничениях (рисунок 2.1 б) определяется по выражению

$$C = 0,0884 \epsilon_u \frac{l \cdot b}{h} \left[1 + \frac{2h}{\pi \cdot l} \left(1 + \lg \frac{\pi \cdot l}{h} \right) \right] \left[1 + \frac{2h}{\pi \cdot b} \left(1 + \lg \frac{\pi \cdot b}{h} \right) \right], \quad (2.6)$$

2.2 Расчет печатных конденсаторов с обкладками, расположенными на одной стороне основания

Обычно емкость C , пФ, между параллельными проводниками, расположенные на одной стороне платы, определяются при помощи графиков (рисунок 2.2) по следующему выражению

$$C = K \cdot \epsilon \cdot l, \quad (2.7)$$

где K - коэффициент, устанавливающий зависимость погонной емкости от размеров обкладок одностороннего конденсатора;

l — длина взаимного перекрытия печатных проводников;

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между обкладками.

При тонких платах (толщина платы того же порядка или меньше, чем расстояние между проводниками) их толщину можно не учитывать и брать $\epsilon = 1$. При большей толщине платы для приближенных расчетов относительную диэлектрическую проницаемость находят по формуле

$$\epsilon = \frac{1 + \epsilon_u}{2}, \quad (2.8)$$

где ϵ_u — диэлектрическая проницаемость материала платы.

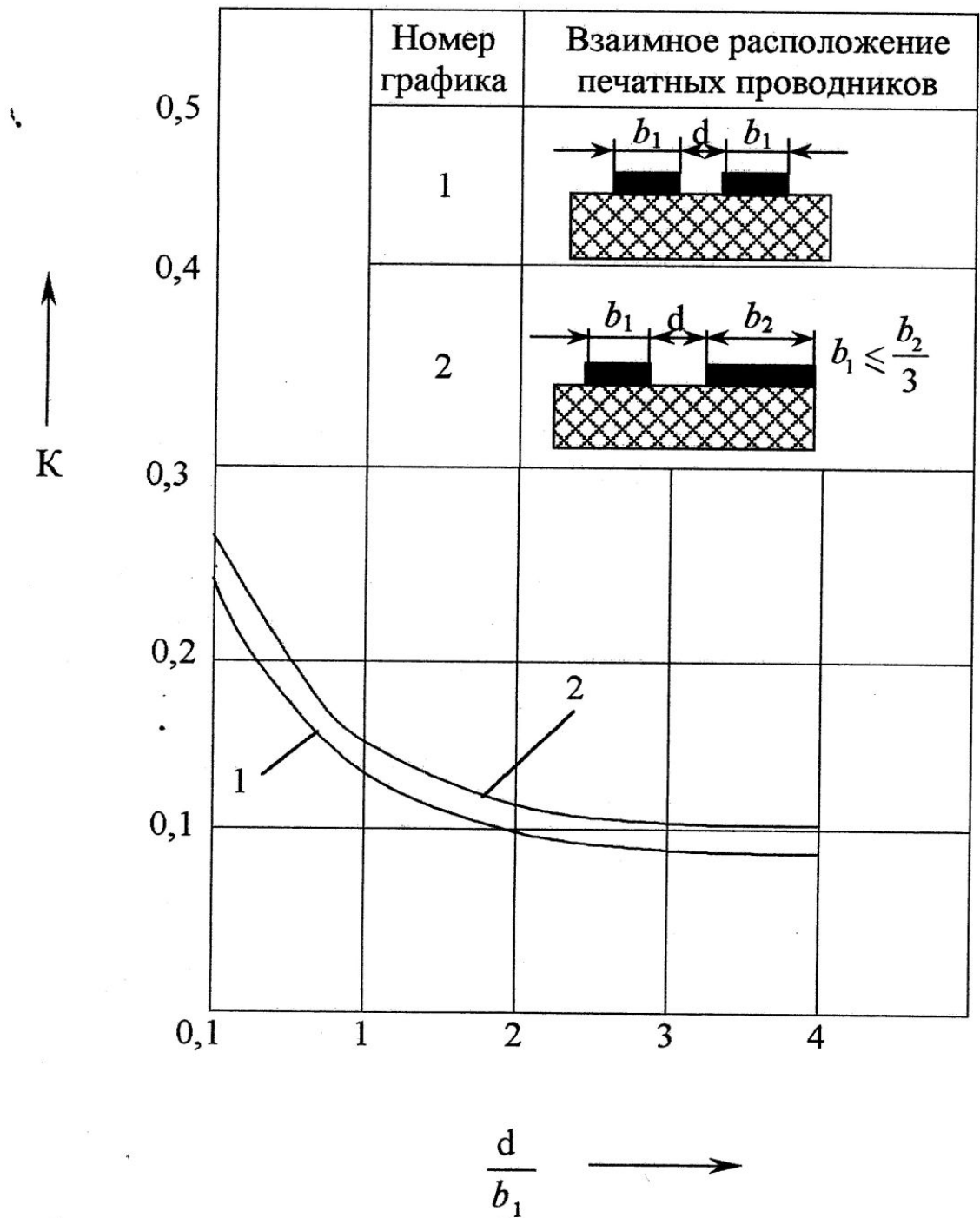
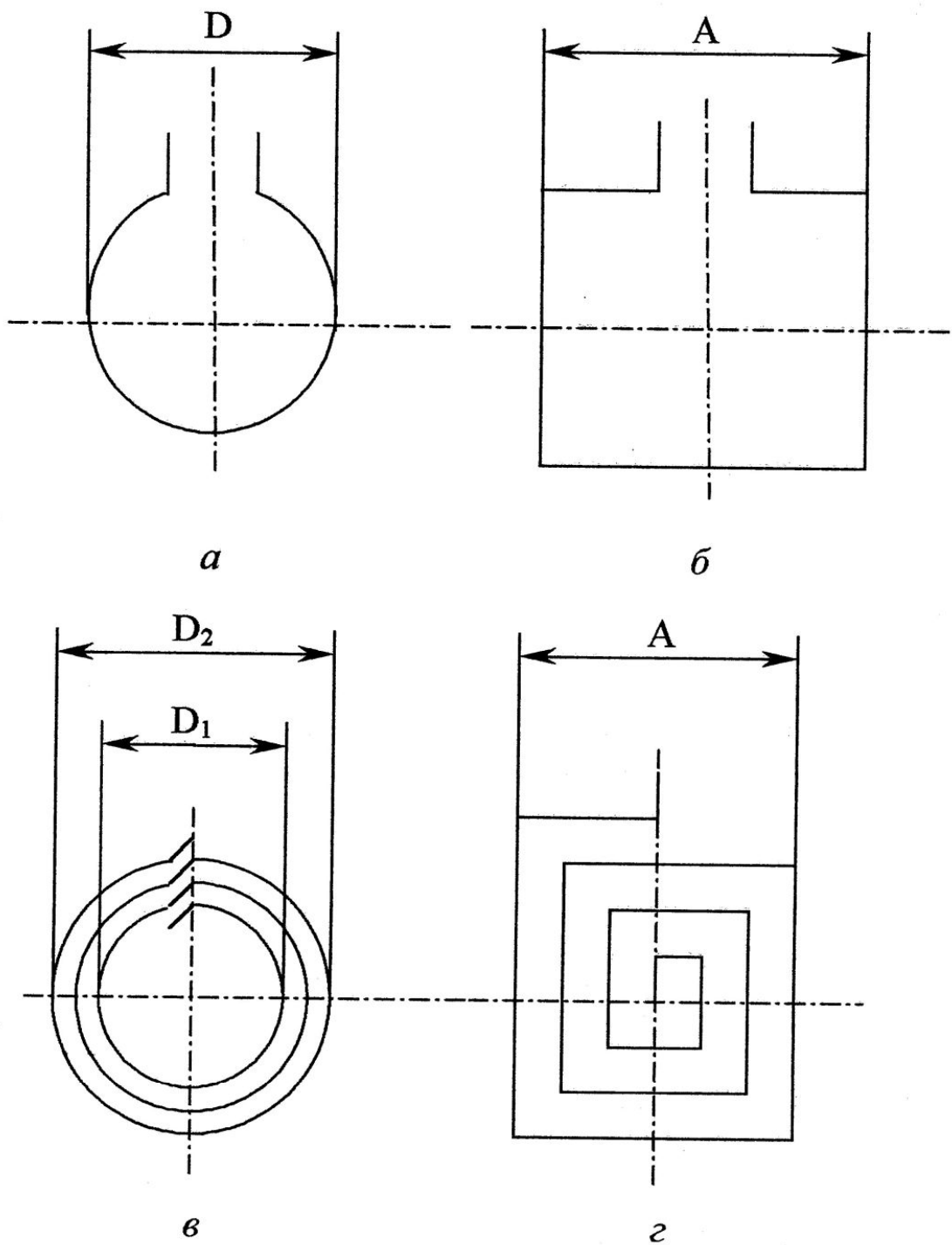


Рисунок 2.2- Значения коэффициента К при различных размерах печатного проводника



- a* – одновитковая круглая;
б – одновитковая квадратная;
в – многovitковая круглая;
z – многovitковая квадратная.

Рисунок 2.3- Виды печатных индуктивностей

2.3 Расчет печатных индуктивностей

Печатные индуктивности представляют собой одновитковую или многовитковую спираль, расположенную на плоском изоляционном основании (рисунок 2.3) и выполненную в виде круглой, овальной, квадратной, прямоугольной или какой-либо другой произвольной формы.

При расчете печатных индуктивностей необходимо учитывать следующие основные положения:

1) главным фактором , определяющим индуктивность одновитковой петли, является площадь, заключенная в плоскости петли;

2) для заданной площади кольцеобразная петля соответствует наименьшей длине проводника и. следовательно, наиболее высокой добротности;

3) при условии, что связь между витками достаточная сильная, индуктивность возрастает на квадрат витка числа витков;

4) предполагается, что проводники немагнитные (например, медные) находятся в среде с магнитной проницаемостью, равной 1 (т.е. в вакууме).

Индуктивность одновитковой петли правильной формы L , мкГн, (рисунок 2.3 а,б) подсчитывается по формуле

$$L=0,002 l \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{b+a} - \theta \right) , \quad (2.9)$$

где l – средний периметр петли, мм;

b - ширина прямоугольного проводника, мм ;

a – толщина проводника, мм;

θ - поправочный коэффициент, учитывающий форму петли.

В таблице 2.1 приведены значения поправочного коэффициента

Таблица 2.1- Значения коэффициента θ

Форма петли	Значение поправочного коэффициента, θ
Круг	2,451
Правильный восьмиугольник	2,561
Правильный шестиугольник	2,636
Правильный пятиугольник	2,712
Квадрат	2,853
Равносторонний треугольник	3,197
Равнобедренный прямоугольный треугольник	3,332

Индуктивность L , мкГн, многовитковой круговой спиральной катушки (рисунок 2.3 в) определяется по выражению

$$L=0,0004 \pi N^2 R \left[\lg \frac{8R}{b_1} - 0,5 + \frac{b_1}{24R} \left(\lg \frac{8R}{b_1} + 3,583 \right) \right], \quad (2.10)$$

где N - число витков;

$R= 0,25(D_1+D_2)$ – средний радиус, мм;

D_1, D_2 – внутренний и внешний диаметр круговой спиральной катушки, мм;

b_1 – ширина полосы, занятой витками катушки, мм.

Для случая, когда $D_1=0$, т.е. когда спираль доходит до центра, формула (2.10) упрощается и имеет вид

$$L=0,0138 R N^2, \quad (2.11)$$

Индуктивность L , мкГн, многовитковой круговой спиральной катушки можно найти также из эмпирической формулы

$$L=0,0215R N^{5/3} \lg \frac{8R}{b_1} , \quad (2.12)$$

Следует отметить, что при заданной индуктивности минимальная длина проводника спиральной катушки достигается при $\frac{R}{b_1}=0,75$. Это условие дает также максимальную добротность для данного объема размера катушки.

Индуктивность L , мкГн, многовитковой квадратной спиральной катушки (рисунок 2.3 г) определяется следующим эмпирическим выражением

$$L=0,0241a N^{5/3} \lg \frac{8a}{b_1} , \quad (2.13)$$

где a – средняя длина стороны квадрата, мм ;

N – число витков;

b_1 – полоса, занятая витками катушки, мм.

Добротность печатных катушек индуктивности не поддается расчету. Она определяется удельной проводимостью металла полосок, толщиной слоя металла, шагом намотки, внутренним диаметром катушки и свойствами электроизоляционного материала, из которого изготовлено основание. Практически добротность печатных катушек на частотах до 10-30 МГц составляет 100-130.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Получить у преподавателя вариант задания.

3.2 Провести измерения значений емкостей для тест плат ТТ-5, ТТ-6

3.3 По тест плате ТТ-5 установить зависимость емкости от формы обкладок печатного конденсатора.

3.4 Измерить ширину и толщину проводников, величину зазора между витками .

3.5 Провести измерения значений индуктивностей, собственных емкостей и добротностей печатных катушек по тест платам ТТ-7, ТТ-8 на одной фиксированной частоте, заданной преподавателем

3.6 Сравнить результаты эксперимента с результатами расчета

3.7 Сделать выводы.

4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1 Наименование работы, цель.

4.2 Результаты эксперимента.

4.3 Результаты расчета выходных параметров для тест-плат ТТ-5, ТТ-6, ТТ-7, ТТ-8, указанных преподавателем.

4.4 Объяснение зависимости емкости от формы обкладок конденсатора.

4.5 Выводы.

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

5.1 Указать области применения печатных емкостей и индуктивностей.

5.2 Перечислить факторы, определяющие величину емкости печатного конденсатора.

5.3 Чем определяются индуктивность, собственная емкость и добротность печатных катушек .

5.4 Виды конструктивного исполнения печатных конденсаторов и индуктивностей.

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

При проведении работы соблюдать правила электробезопасности для лиц, работающих с напряжением выше 36 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Печатные схемы в приборостроении, вычислительной технике и автоматике /Под ред. Проф. А.Т. Белевцева -М.: Машиностроение, 1973.-272 с.

2 Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н.Либ и др.; под ред. В.И. Вольмана-М.: Радио и связь, 1982.-328 с.

Работа 4

**Химико-гальваническая металлизация диэлектриков
(4 часа, сам. работа 4 часа)**

Содержание

1	Введение	3
2	Общие положения.....	3
3	Подготовка поверхности перед химико-гальванической металлизацией	5
4	Создание каталитической активности на поверхности диэлектрика	5
4.1	Общие сведения	5
4.2	Сенсибилизация	6
4.3	Активация	7
4.4	Сенсаактивация.....	8
5	Химическое меднение	8
6	Гальваническое осаждение меди.....	12
6.1	Общие сведения	12
6.2	Определение кинетических параметров электролиза	16
7	Методы контроля	17
7.1	Методы измерения толщины покрытия.....	17
7.2	Методы определения прочности сцепления	17
7.2.1	Метод сетки царапин.....	17
7.2.2	Метод отрыва полосы	18
8	Порядок выполнения работы.....	19
9	Содержание отчета.....	19
10	Контрольные вопросы	19
11	Безопасность проведения работ.....	20
	Список использованных источников	20
	Приложение А Приготовление растворов двухлористого олова SnCl_2 для сенсибилизации	22
	Приложение Б Приготовление растворов хлористого палладия PdCl_2 для активации	23
	Приложение В Приготовление совмещенного раствора для процесса сенсаактивации	25
	Приложение Г Приготовление растворов для химического меднения	27
	Приложение Д Варианты по химико-гальваническому меднению неорганических диэлектриков.....	29

1 ВВЕДЕНИЕ

При выполнении данной работы студенты должны приобрести практические навыки по технологии химико-гальванической металлизации диэлектрических материалов, используемой при производстве печатных плат (ПП); закрепить теоретические знания по аддитивной технологии изготовления ПП; ознакомиться с методами контроля металлических покрытий на диэлектрическом основании.

2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В технологии радиоэлектронной (электронно-вычислительной) аппаратуры при производстве ПП (односторонних, двусторонних, гибких и т. п.) используются операции, связанные с химико-гальванической металлизацией неорганических диэлектриков. Процесс металлизации осуществляется в две стадии: химическое и гальваническое осаждение металла.

Химическая металлизация ПП заключается в последовательности химических реакций осаждения меди, используемой в качестве подслоя при нанесении основного слоя токопроводящего рисунка гальваническим способом или в качестве основного слоя при нанесении токопроводящего рисунка путем толстослойного химического лиднения при изготовлении плат аддитивным методом. Толщина слоя химической меди должна составлять 0.25 – 1.0 мкм при полном покрытии поверхности диэлектрика и стенок отверстий (монтажных, переходных) пластичным, однородным, сплошным, хорошо сцепленным с диэлектриком слоем.

Основой для гальванической металлизации является водный раствор солей, содержащий осажденный металл в виде положительных ионов. Гальваническую металлизацию при производстве ПП применяют для предварительного увеличения тонкого слоя химической меди до толщины 5 – 8 мкм, с целью последующего нанесения на поверхность проводящего рисунка схемы, образования проводящего рисунка схемы с толщиной меди не менее 25 мкм.

Варианты схем технологического процесса химико-гальванической металлизации (меднения) неорганических диэлектриков показаны на рисунке 2.1.

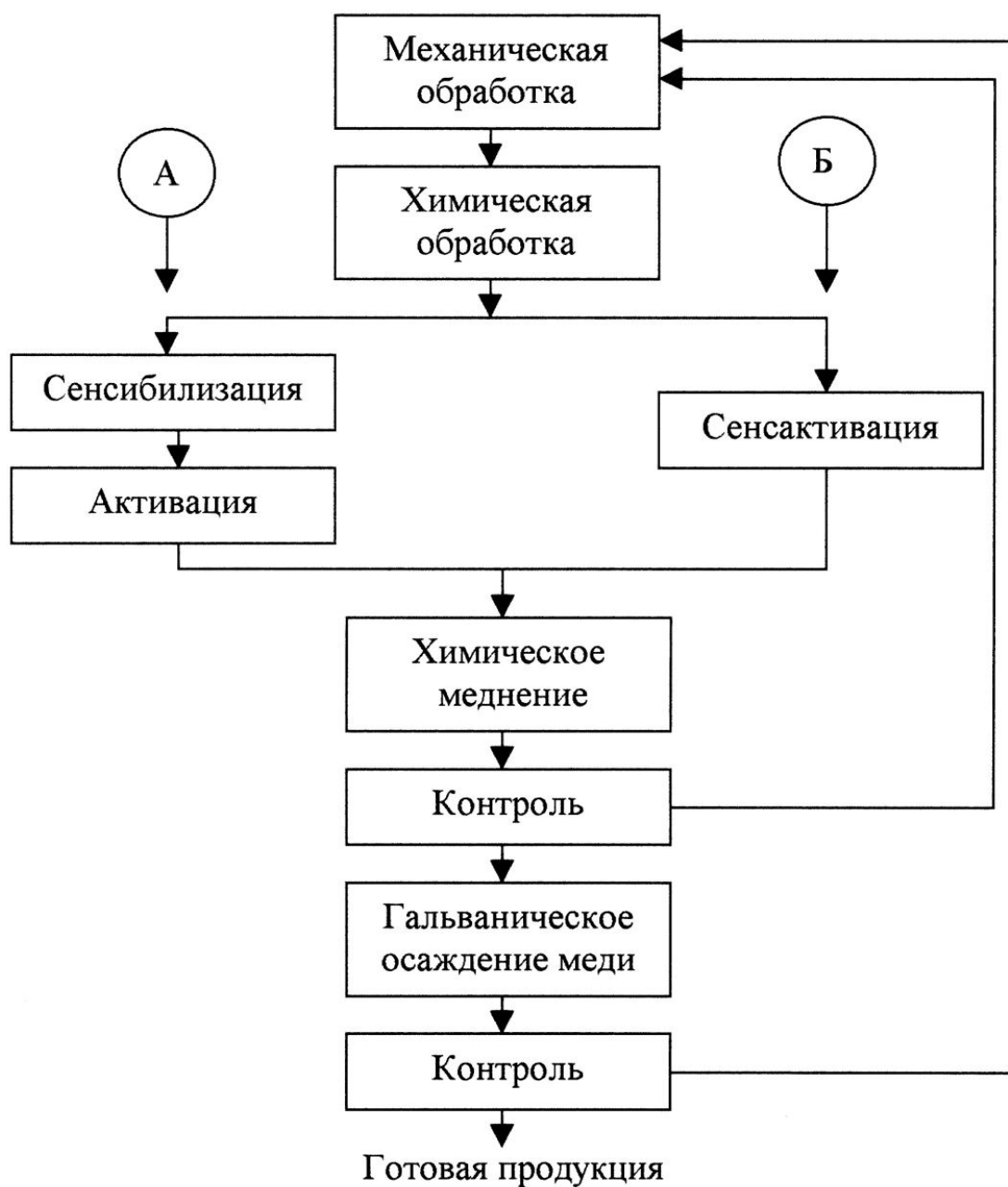


Рисунок 2.1 - Варианты схем технологического процесса химико-гальванической металлизации

3 ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕД ХИМИКО-ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Подготовка поверхности перед химико-гальванической металлизацией заключается в механической или химической обработке с целью создания на поверхности шероховатости, обеспечивающей необходимую прочность сцепления и удаления жировых пленок, образующихся в процессе изготовления деталей или в результате их хранения на воздухе.

К механическим способам подготовки поверхности относятся абразивная обдувка сухим абразивом или абразивно-водной пульпой (гидроабразивная обработка). Обдувка абразивными порошками или чистым кварцевым песком является наиболее распространенным методом, так как при этом обеспечивается наиболее однородная обработка поверхности и достигается высокая производительность. В условиях единичного или опытного производства необходимую шероховатость поверхности получают обработкой шлифовальной шкуркой с разной степенью зернистости абразивного материала. При высоте неровностей 40 – 80 мкм можно считать шероховатость вполне достаточной для необходимой адгезии между диэлектрическим основанием и токопроводниками. В результате химической обработки (обезжиривания) с поверхности диэлектрика удаляются различные органические загрязнения (жировые пленки, смазка и т.д.). Очистка поверхности от органических пленок производится специальными органическими растворителями: четыреххлористый углерод CCl_4 , перхлорэтилен C_2Cl_4 , трихлорэтилен C_2HCl_3 . Если поверхность детали после обезжиривания плохо смачивается водой, операцию повторяют.

4 СОЗДАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА

4.1 Общие сведения

Скорость осаждения покрытия и его плотность определяются каталитической активностью подготовленной поверхности. Для придания поверхности неорганических диэлектриков каталитиче-

ских свойств, обеспечивающих последующее химическое восстановление металла, проводят его активацию. Активация заключается в том, что на обрабатываемую поверхность наносятся химическим путем чрезвычайно малые количества металлов, являющихся катализаторами химического восстановления. Такими катализаторами являются коллоидные частицы или малорастворимые соединения палладия, платины, золота, серебра.

Образование каталитического слоя в виде металла, находящегося в коллоидном состоянии, осуществляется обычно в две стадии: сенсibilизация и активация. В некоторых технологических процессах металлизации диэлектриков обе стадии совмещаются в одной операции. Процесс образования каталитической поверхности в этом случае называют сенсактивацией.

4.2 Сенсibilизация

Сенсibilизация поверхности заключается в нанесении пленки раствора, восстанавливающего каталитический металл (например, палладий) из раствора его соли. Эффективным способом сенсibilизации является обработка поверхности в растворе солей двухлористого олова SnCl_2 . Для сенсibilизации могут быть использованы растворы, указанные в таблице 4.1. Инструкции по приготовлению растворов приведены в приложении А.

Таблица 4.1 – Растворы для сенсibilизации

Компоненты, режим	Единицы измерения	Раствор	
		№1	№2
Олово двухлористое, SnCl_2	г/л	10 – 30	20 – 25
Кислота соляная, HCl	мл/л	10 – 30	13 – 17
Олово металлическое, Sn	г/л	–	1 – 2
Температура	°С	18 – 25	18 – 25
Продолжительность обработки	мин	2 – 5	2 – 5

После извлечения детали из раствора сенсibilизации следует промывка в проточной воде для создания коллоидной пленки соединений двухвалентного олова, прочно адсорбирующейся на поверхности



Создание коллоидной пленки значительно повышает равномерность распределения олова по поверхности диэлектрика. После этого снова производят промывку (погружением) детали в дистиллированной воде.

4.3 Активация

Процесс активации заключается в том, что на поверхности диэлектрика, сенсibilизированного двухвалентным оловом, происходит реакция восстановления ионов каталитического металла (палладия) по реакции:



Металлический палладий в коллоидной форме равномерно распределяется тончайшим слоем по всей поверхности обрабатываемой детали. Для активации рекомендуются растворы, указанные в таблице 4.2. Инструкции по приготовлению растворов приведены в приложении Б.

Таблица 4.2 – Растворы для активации

Компоненты, режим	Единицы измерения	Раствор	
		№1	№2
Палладий хлористый, PdCl ₂	г/л	0,5 – 0,1	4,0
Кислота соляная, HCl	г/л	12 – 18	–
Трилон, В	г/л	–	12
Гидрат окиси аммония, NH ₄ OH (25% - ный раствор)	г/л	–	350
pH		3 – 4	
Температура раствора	°С	18 – 22	18 – 22
Продолжительность обработки	мин	3 – 10	2 – 3

Примечание. Раствор №1 рекомендован для любых типов диэлектрических материалов. Раствор №2 применяется в случаях, когда детали из диэлектрических материалов сопряжены с металлическими поверхностями (медь, латунь, бронза).

После операции активации следует промывка в непроточной воде, затем промывка в проточной воде и загрузка деталей в ванну химического меднения.

4.4 Сенсактивация

Применение совмещенного раствора для сенсактивации (прямое активирование) технологически более перспективно, так как исключает необходимость сложного корректирования двух взаимосвязанных растворов сенсбилизации и активации, и сокращает количество необходимого технологического оборудования.

Для сенсбилизации рекомендуется состав раствора, указанный в таблице 4.3. Инструкции по приготовлению раствора приведены в приложении В.

Таблица 4.3 – Раствор для сенсактивации

Компоненты, режим	Единицы измерения	Раствор
Палладий хлористый, PdCl ₂	г/л	0,8 – 1,0
Олово хлористое, SnCl ₂ ·2H ₂ O	г/л	40 – 45
Кислота соляная, HCl	мл/л	160 – 200
Калий хлористый, KCl	г/л	140 – 150
Температура раствора	°С	18 – 22
Продолжительность обработки	мин	0,5 – 1,0
Промывка в проточной воде	мин	2
Погружение в раствор ускорителя	мин	1
Промывка в проточной воде	мин	2

Примечание. Раствор ускорителя содержит 120 г/л бифторида аммония (NH₄HF₂) и имеет кислую среду.

5 ХИМИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ

Химическое меднение основано на восстановлении на каталитической поверхности пластмасс и неорганических диэлектриков двухвалентной меди до металлической с помощью добавленного в

раствор восстановителя-формалина (формалин – 40% раствор формальдегида). Механизм химического восстановления меди носит электрохимический характер, так как на каталитических участках поверхности одновременно протекают процессы катодного восстановления меди и анодного окисления формалина по реакциям:

на катодных участках



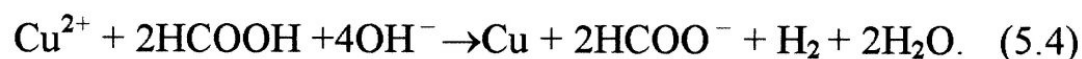
на анодных участках



Частично формалин окисляется в щелочной среде до муравьиной кислоты с выделением водорода:



Суммарная реакция восстановления меди следующая:



Так как реакция восстановления меди является автокаталитической, медь осаждается и после покрытия его пленки катализатора (например, металлического палладия).

Химическое осаждение меди при металлизации диэлектриков производится с помощью растворов, приведенных в таблице 5.1. Инструкции по приготовлению растворов представлены в приложении Г.

Таблица 5.1 – Растворы для химического осаждения меди

Компоненты, режим	Единицы измерения	Раствор	
		№1	№2
Медь сернокислая, CuSO_4	г/л	10 – 15	100
Натр едкий, NaOH	г/л	10 – 15	100
Калий – натрий виннокислый, $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	г/л	50 – 60	—
Натрий углекислый, Na_2CO_3	г/л	2 – 3	—

Окончание таблицы 5.1

Растворы для химического осаждения меди

Компоненты, режим	Единицы измерения	Раствор	
		№1	№2
Никель хлористый, $\text{NiCl}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$	г/л	2 – 3	—
Формалин (40 %)	мл/л	15 – 20	25 – 40
Глицерин	г/л	—	100
Тиосульфат натрия, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	мг/л	0,5 – 1,0	—
pH		12,6 – 12,8	—
Продолжительность процесса	мин	20 – 30	10 – 15
Температура	°C	18 – 25	18 – 25
Толщина покрытия	мкм	0,5 – 0,8	0,5 – 1,5
Плотность загрузки	дм ² /л	2,5 – 4,0	2,0 – 2,5

При использовании растворов для химического меднения с целью обеспечения хорошего качества покрытия и стабильной работы растворов следует руководствоваться следующими основными правилами:

1) детали, подвергающиеся химическому меднению, следует располагать на подвесках таким образом, чтобы обеспечить выход водорода и не создавать газовых мешков;

2) для предотвращения самопроизвольного разложения раствора не следует допускать наличие следов металлической меди и других загрязнений на дне и стенках ванны, используемых для химического меднения;

3) детали в процессе меднения следует покачивать с целью обновления раствора, прилегающего к поверхности деталей;

4) при повторном использовании подвесок необходимо удалить с них металлическое покрытие, так как оно не допустимо в ваннах сенсбилизации и активации, а ванне химического меднения служат источником попадания металла в раствор.

Основные неполадки в работе ванн химического меднения и способы их устранения представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Основные неполадки в работе ванн химического меднения и способы их устранения

Характеристика неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
Наличие непокрытых участков на деталях	1 Образование газовых мешков, неравномерное омывание деталей раствором	1 Производить встряхивание деталей в ванне
	2 Плохая смачиваемость в растворах сенсибилизации и активирования	2 Улучшить подготовку деталей, откорректировать растворы
Осаждение меди не происходит	1 Низкое значение показателя рН	1 Подщелочить раствор
	2 Недостаток формалина в растворе	2 Добавить в раствор формалин
	3 Избыток стабилизатора	3 Добавить свежий раствор без стабилизатора
Слой меди шероховатый и темный	1 Перетравлена поверхность деталей	1 Уменьшить время травления
	2 Высокий показатель рН	2 Добавить серную кислоту
Покрытие пятнистое	Недостаточная промывка после сенсибилизации	Улучшить качество промывки
Самопроизвольное осаждение металла на стенках ванны и в объеме раствора	Плохая очистка ванн, наличие меди или других очагов восстановления металла	Отфильтровать раствор, очистить стенки ванны азотной кислотой

Окончание таблицы 5.2

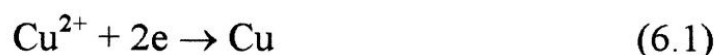
Основные неполадки в работе ванн химического меднения и способы их устранения

Характеристика неполадки	Причины неполадок	Способы устранения
Покрытие образуется очень медленно	1 Низкая концентрация металлов в растворах сенсibilизации, активирования и химического меднения	1 Откорректировать все растворы
	2 Пониженная температура растворов	2 Подогреть растворы сенсibilизации, активирования и химического меднения

6 ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ

6.1 Общие сведения

Основой для гальванической металлизации является водный раствор солей, содержащий осаждаемый металл в виде положительных ионов. Необходимые для восстановления электроны поступают от внешнего источника постоянного тока. Под воздействием внешнего напряжения ионы металла движутся к катоду (ПП), присоединяя электроны, и осаждаются на нем как нейтральные атомы. Примером может служить восстановление меди:



На рисунке 6.1 показана в упрощенной форме схема гальванического осаждения меди (Me_2) на поверхность ПП, с предварительным слоем химической меди (Me_1). Процессы, происходящие на аноде и катоде, имеют сложный характер, определяемый переносом ионов, их диффузией и адсорбцией, которые, в свою очередь, зависят от концентрации компонентов и температуры раствора (электролита).

11.1 Избегать попадания брызг электролита и растворов на кожу и одежду.

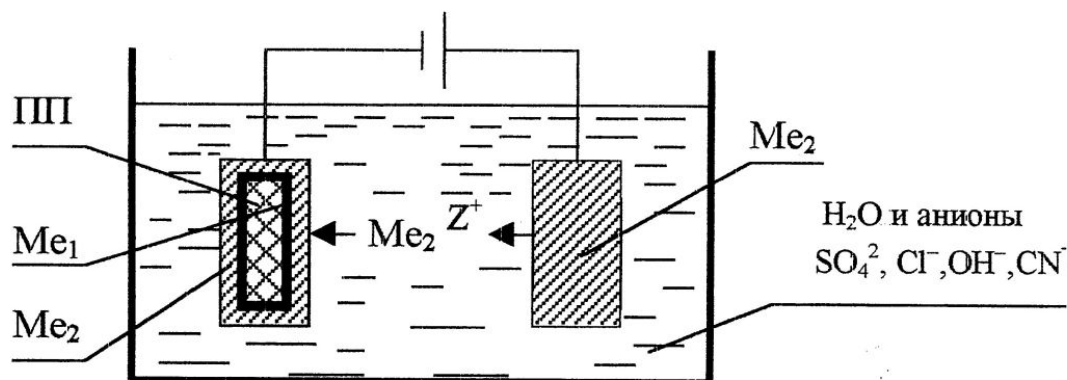


Рисунок 6.1 – Схема гальванического осаждения меди

Существующие электролиты меднения разделяются по своему составу на щелочные и кислые. К щелочным относятся цианистые, железистосинеродистые и пирофосфатные электролиты. Основным недостатком является их токсичность. В процессе эксплуатации железистосинеродистых электролитов также образуются цианистые комплексные соли. Пирофосфатные электролиты весьма ограниченно используются в промышленности.

Используемые в промышленности кислые электролиты – сульфатные и фторборатные – устойчивые в эксплуатации, не токсичные, имеют большой выход по току (95 – 100%). Скорость осаждения значительна. Однако рассеивающая способность низка, поэтому в них подвергают меднению только детали не сложной конфигурации. Электролиты обладают хорошей выравнивающей способностью, особенно в присутствии органических добавок. Составы сульфатных и фторборатных электролитов и режимы осаждения меди указаны в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Составы сульфатных и фторборатных электролитов и режимы осаждения меди

Составы электролита и режимы осаждения	Электролиты			
	№1	№2	№3	№4
Состав, г/л:				
меди сульфат	200 – 250	180 – 250	—	—
кислота серная	50 – 70	30 – 50	—	—
кислота соляная	—	0,01 – 0,02	—	—
меди фторборат	—	—	35 – 40	220 – 250

Окончание таблицы 6.1

Составы сульфатных и фторборатных электролитов и режимы осаждения меди

Составы электролита и режимы осаждения	Электролиты			
	№1	№2	№3	№4
кислота борфтористоводородная свободная	—	—	15 – 18	2 – 3
кислота борная	—	—	15 – 20	15 – 16
Режим осаждения:				
температура, °С	18 – 25	18 – 25	18 – 25	60
катодная плотность тока, А/дм ²	1 – 2	2 – 3	до 10	до 30

Основные неполадки при меднении в кислых электролитах и способы их устранения представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Основные неполадки при меднении в кислых электролитах и способы их устранения

Характеристика неполадок	Возможная причина их образования	Способ устранения
Вздутие и отслаивание медного слоя, особенно при полировке и термообработке	1 Плохая подготовка поверхности детали к покрытию	1 Улучшить очистку поверхности детали от загрязнений
	2 Малая толщина подслоя	2 Увеличить толщину подслоя до 2 – 3 мкм
Краснеющие (пригорелые) места и дендриты на выступах и кромках деталей	1 Чрезмерно высокая плотность тока	1 Снизить катодную плотность тока и ввести перемешивание
	2 Малое межэлектродное расстояние	2 Правильно расположить деталь на подвесках

Окончание таблицы 6.2

Основные неполадки при меднении в кислых электролитах и способы их устранения

Характеристика неполадок	Возможная причина их образования	Способ устранения
В углублениях деталей крупнокристаллический, рыхлый и шероховатый слой меди	1 Низкая концентрация серной кислоты	1 Добавить кислоту по данным анализа
	2 Очень низкая катодная плотность	2 Повышать плотность тока на катоде
Рыхлый и губчатый слой меди и большое выделение водорода	Большой избыток серной кислоты при низкой концентрации медного купороса	Откорректировать состав электролита по результатам анализа
Появление блестящих полос на поверхности медного покрытия	Загрязнение электролита органическими примесями, полировальной пастой и т.д.	Очистить электролит активированным древесным углем
Черные и коричневые полосы, иногда с блестящими просветами на слое осажденной меди	Загрязнение электролита примесями тяжелых металлов, чаще всего мышьяка и сурьмы	Поставить электролит на проработку, а при большом содержании примеси сменить электролит
Крупная кристаллическая структура слоя меди; кристаллизация медного купороса на анодах и на дне ванны	Чрезмерно высокая концентрация медного купороса (более 250 г/л)	Слить часть электролита и разбавить оставшийся электролит водой
Грубая шероховатая поверхность слоя медного покрытия	Загрязнение электролита механическими примесями	Очистить электролит декантацией или фильтрованием

6.2 Определение кинетических параметров электролиза

При проведении работ по гальваническому осаждению металлических покрытий возникает необходимость в определении времени, затрачиваемого для электроосаждения покрытия требуемой толщины:

$$\tau = \frac{\delta \cdot \rho \cdot 60}{j \cdot q \cdot \eta}, \quad (6.2)$$

где τ – время для электроосаждения покрытия, мин;

δ – толщина покрытия, мкм;

ρ – плотность металла покрытия, г/см³;

j – плотность тока, А/дм²;

q – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/(А·ч);

η – катодный выход металла по току, %.

При определении времени электроосаждения катодный выход по току принять равным 95%.

Электрохимический эквивалент и плотность осаждаемого металла определяется по таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Значение электрохимического эквивалента q и плотности ρ металлов покрытия

Металл	Символ	Плотность металла покрытия, г/см ³	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)
Алюминий	Al	2,70	0,335
Железо	Fe	7,86	0,694
Золото	Au	19,30	0,681
Индий	In	7,31	0,399
Кадмий	Cd	8,64	0,582
Медь	Cu	8,93	0,330
Никель	Ni	8,90	1,095
Олово	Sn	7,28	1,107
Платина	Pt	21,45	3,640
Свинец	Pb	11,34	3,865

Окончание таблицы 6.3

Значение электрохимического эквивалента q и плотности ρ металлов покрытия

Металл	Символ	Плотность металла покрытия, г/см ³	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)
Серебро	Ag	10,50	4,025
Хром	Cr	7,90	0,324
Цинк	Zn	7,13	1,220

7 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

7.1 Методы измерения толщины покрытия

Наряду с химическими методами толщины с разрушением покрытия (капельный, снятия) может быть использована измерительная аппаратура, в частности, микроинтерферометр МИИ – 4 (пределы измерения высоты неровностей от 1 до 0,03 мкм) или микроскоп сравнения МИС – 11 (пределы измерения высоты неровностей от 160 до 0,25 мкм). Очевидно, что в настоящей работе для измерения толщины покрытия толстослойной меди студенты могут использовать МИС – 11 (см. описание микроскопа двойного). С этой целью на заготовку диэлектрического материала после подготовки поверхности (механическая, химическая обработка) наносится защитное лаковое покрытие в виде линии шириной 1,0 – 1,5 мм. После завершения процесса химико-гальванической металлизации защитное покрытие удаляется и образующаяся ступенька (неровность) позволит оценить с помощью МИС – 11 высоту неровности на границе металл – диэлектрик, что адекватно толщине нанесенного покрытия.

7.2 Методы определения прочности сцепления

7.2.1 Метод сетки царапины

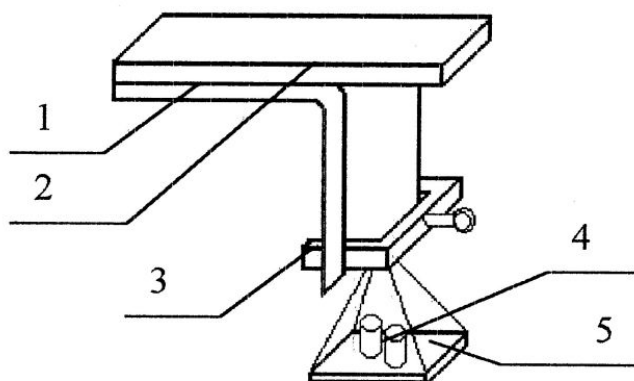
На поверхность контролируемого покрытия стальным острием наносят 4 – 6 параллельных линий, глубиной до основания материала, на расстоянии от 2,0 до 3,0 мм друг от друга и 4 – 6 параллельных линий, перпендикулярных к ним. Линии проводят в одном направлении. На контрольной поверхности покрытия не

должно наблюдаться отслаивания.

7.2.2 Метод отрыва полосы

Для реализации данного метода необходимо использовать пластины шириной 10 мм, длиной от 40 до 50 мм и толщиной от 2 до 3 мм. Одну сторону пластины и торцевые поверхности изолировать химически стойким лаком. Рабочую поверхность пластины тщательно подготовить, после чего на расстоянии 10 мм от края пластины натереть поверхность графитом по всей ширине. Нанести покрытие толщиной 40–50 мкм, промыть, просушить.

Покрытие отодрать от края образца, натертого графитом, до границы, где начинается участок прочного сцепления с образцом. Образец закрепить горизонтально, к полосе покрытия закрепить платформу (рисунок 7.1), которую нагружают разновесами до полного отрыва полоски от образца. Прочность сцепления оценить по величине груза, отнесенного к 1 см ширины полосы покрытия. В величину нагрузки включить вес платформы и крепления.



1 – покрытие; 2 – пластинка; 3 – закрепляющее устройство
4 – разновесы; 5 – платформа.

Рисунок 7.1 – Схема по методу отрыва полосы

8 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

8.1 Ознакомиться с технологическими процессами химико-гальванических покрытий из меди на диэлектрические материалы.

8.2 Получить у преподавателя вариант задания (см. приложение Д) и рабочие образцы.

8.3 Подготовить рабочие образцы к химическому меднению.

8.4 Провести химическое меднение.

8.5 Оценить качество полученных осадков.

8.6 Провести гальваническое осаждение меди.

8.7 Провести контроль качества медных покрытий.

9 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать следующие разделы:

- 1) цель работы;
- 2) исходные данные;
- 3) определение режимов гальванического осаждения меди;
- 4) определение степени гальванических покрытий;
- 5) определение степени сцепляемости покрытий;
- 6) выводы.

10 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

10.1 Почему необходима механическая и химическая обработка диэлектрического материала перед химико-гальванической металлизацией?

10.2 Требования, предъявляемые при проведении механических и химических операций при подготовке поверхности.

10.3 Назначение и область применения металлизации неорганических диэлектриков.

10.4 Какие существуют способы специальной химической обработки поверхности диэлектрика, повышающие ее каталитическую активность?

10.5 Чем обусловлена необходимость создания каталитической активности на поверхности диэлектрика?

10.6 Почему сенсбилизация предшествует процессу активации, а не наоборот?

10.7 Можно ли провести химическую металлизацию поверхности диэлектрического материала без предварительного проведения процессов сенсбилизации и активации?

10.8 Какие процессы происходят на поверхности неорганических диэлектриков при химическом меднении?

10.9 Какие технологические факторы влияют на качество гальванического медного покрытия?

10.10 Какие существуют методы испытания и контроля гальванических покрытий?

10.11 Почему аддитивную группу технологий при изготовлении ПП считают более перспективной, чем субтрактивную?

10.12 Какие конкретные способы изготовления ПП объединены в аддитивную группу технологий?

10.13 Почему в настоящее время отдается предпочтение не химическим, а химико-гальваническим процессам изготовления ПП?

10.14 Какая группа технологий, аддитивная или субтрактивная, является наиболее экологически чистой?

11 БЕЗОПАСНОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ РАБОТ

11.1 Все работы с электролитами меднения, сенсактивирующими растворами для обезжиривания и травления проводить только в вытяжном шкафу.

11.2 Избегать попадания брызг электролита и растворов на кожу и одежду.

11.3 Соблюдать правила электробезопасности для лиц, работающих с напряжением 36 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ильин В.А. Металлизация диэлектриков. – Л.: Машиностроение, 1977. – 89с.

2 Инженерная гальванотехника в приборостроении /Под ред. доктора техн. наук А.М. Гинберга. – М.: Машиностроение, 1977. – 512с.

3 Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальваника. – 3 – е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1981. – 289с.

4 Гальванотехника: Справ. изд./ Под ред. доктора техн. наук А.М. Гинберга. – М.: Металлургия, 1987. – 736с.

Приложение А

Приготовление растворов двухлористого олова SnCl_2 для сенсibilизации

Настоящая инструкция устанавливает технологию приготовления раствора для сенсibilизации неорганических диэлектриков перед активацией.

Состав раствора №1:

олово двухлористое, SnCl_2 , г/л – 10 – 30;
кислота соляная, HCl
(уд. вес 1.18) мл/л – 10 – 30.

Технология приготовления

Влить в мерную колбу емкостью 1 л 10 – 30 мл соляной кислоты, растворить в ней при нагревании 10 – 30 г двухлористого олова. Затем дистиллированной водой довести объем до метки и перемешать.

Примечания:

1 Раствор хранить в темной посуде с притертой крышкой в затемненном прохладном месте.

2 Для повышения устойчивости раствора можно добавить к нему несколько кусочков металлического олова.

3 Раствор годен до появления в нем белого осадка, в противном случае его необходимо заменить на свежеприготовленный.

Состав раствора №2:

олово двухлористое, SnCl_2 , г/л – 20 – 25;
кислота соляная, HCl , мл/л – 13 – 17;
олово металлическое, Sn , г/л – 1 – 2.

Примечание. Технология приготовления аналогична описанному раствору №1.

Приложение Б

Приготовление растворов хлористого палладия PdCl₂ для активации

Настоящая инструкция устанавливает технологический процесс приготовления раствора хлористого палладия для активации поверхности неорганических диэлектриков перед операцией химического меднения.

Состав раствора №1, г/л:

палладий хлористый, PdCl ₂	- 0,5 – 1,0;
кислота соляная, HCl	- 12 – 18;
pH	- 3 – 4.

Технология приготовления

Расчетное количество хлористого палладия тщательно растереть в фарфоровой ступке и перенести в мерную колбу с дистиллированной водой 100 – 200 мм, предварительно подкисленной соляной кислотой в соответствии с рецептурой, нагреть до температуры 50 - 80°C полного растворения хлористого палладия. Остывший раствор разбавить дистиллированной водой до метки и довести до pH = 3 – 4.

Примечания:

- 1 Хранить раствор в посуде с притертой пробкой.
- 2 Для качественной оценки пригодности раствора активирования производят смешивание растворов активирования, сенсibilизирования в соотношении 1:1. Раствор пригоден к работе, если смесь окрашивается в красный или коричнево-красный цвет.

Состав раствора №2, г/л:

палладий хлористый, PdCl ₂	- 4;
трилон Б	- 12;
гидрат окиси аммония, NH ₄ OH (25%-ный раствор)	- 350.

Расчетное количество размельченного хлористого палладия растворяют в заданном количестве аммиака при температуре от 5 до 60°C.

В охлажденный до температуры 18 - 30°C раствор вводят при перемешивании нужное количество трилона Б, доливают дистиллированную воду до уровня и фильтруют раствор.

Примечания:

- 1 Хранить раствор в посуде с притертой пробкой.
- 2 Анализировать раствор на содержание PdCl_2 не реже одного раза в неделю.
- 3 Целесообразно применять в случае сопряжения, диэлектрических материалов с металлическими поверхностями (медь, латунь, бронза).

Приложение В

Приготовление совмещенного раствора для процесса сенсактивации

Настоящая инструкция устанавливает технологический процесс приготовления совмещенного раствора для сенсактивации неорганических диэлектриков перед операцией химического меднения.

Состав раствора, г/л:

палладий хлористый, PdCl ₂	- 0,8 – 1,0;
олово хлористое, SnCl ₂ ·2H ₂ O	- 40 – 45;
кислота соляная, HCl (уд.вес 1,19)	- 160 – 200;
хлористый калий, KCl	- 140 – 150;

Технология приготовления

Рассчитанное количество хлористого палладия растворить при слабом нагревании в соляной кислоте, количество которой брать из соотношения 6 мл на 1 г хлористого палладия. Раствор охладить и разбавить дистиллированной водой из расчета 20 мл воды на 1 г хлористого палладия. Хлористое олово растворить в нагретой соляной кислоте при соотношении 2 г SnCl₂·2H₂O на 1 мл соляной кислоты. Раствор охладить и разбавить удвоенным количеством дистиллированной воды.

Раствор хлористого олова влить медленно в раствор хлористого палладия, выдержать при температуре 90 – 100°C в течении 10 – 15 мин. В полученный раствор добавить хлористый калий и остальную соляную кислоту, растворенные в воде. Долить дистиллированную воду до необходимого уровня ванны.

Примечания:

1 При уменьшении хлористого олова до 10 – 12 г/л раствор корректировать введением кристаллического SnCl₂, после чего раствор прогреть при температуре 60 – 70°C в течении 10 – 20 мин.

2 При уменьшении хлористого палладия до 0,2 – 0,3 г/л раствор корректировать введением концентрированного раствора хлористого палладия в соляной кислоте.

При образовании осадка или ослабления активизирующей силы раствор корректировать при температуре 60 – 70°C в течении 10 – 20 мин.

Раствор не фильтровать.

Приложение Г

Приготовление растворов для химического меднения

Настоящая инструкция устанавливает технологический процесс приготовления растворов для химического меднения неорганических диэлектриков перед операцией гальванического осаждения меди.

Состав раствора №1:

медь сернокислая, CuSO_4 , г/л	- 10 – 15;
натрий едкий, NaOH , г/л	- 10 – 15;
калий – натрий виннокислый, $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$, г/л	- 50 – 60;
натрий углекислый, Na_2CO_3 , г/л	- 2 – 3;
никель хлористый, NiCl_2 , г/л	- 2 – 3;
формалин (40% - ный), мл/л	- 15 – 20;
тиосульфат натрия, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, мг/	- 0,5 – 1,0.

Технология приготовления

В отдельном объеме воды растворяют сернокислую медь и хлористый никель, а в другом объеме – калий-натрий виннокислый, едкий натр и углекислый натрий. Затем при перемешивании первый раствор вливают во второй и уровень раствора доводят до заданного.

Непосредственно перед химическим меднением (за 4 – 5 мин) в рабочий раствор вводят тиосульфат натрия и формалин.

Состав раствора №2:

медь сернокислая, CuSO_4 , г/л	- 100;
натрий едкий, NaOH , г/л	- 100;
формалин (40% - ный), мл/л	- 25 – 40;
глицерин, г/л	- 100.

Технология приготовления

Рассчитанное количество сернокислой меди и едкого натра растворить отдельно в воде. После охлаждения в раствор щелочи влить указанное количество глицерина и тщательно перемешать. Затем в смесь постепенно влить раствор сернокислой меди при

энергичном перемешивании, охладить. Приготовленный раствор должен быть синего цвета. Перед началом работы (за 4 – 5 мин) в рабочий раствор вводят формалин.

Приложение Д

Таблица Д – Варианты по химико-гальваническому меднению неорганических диэлектриков

Вариант	Технологическая схема	Материал	Номера растворов					Метод контроля	
			Сенсибилизация	Активация	Сенсаktivация	Химическое меднение	Гальваническое осаждение меди	Толщины покрытия	Прочности сцепления
1	Рисунок 2.1.А	Стеклотекстолит	1	1	–	2	1	+	+
2			1	1	–	2	2	+	+
3			1	1	–	2	3	+	+
4			1	1	–	2	4	+	+
5			2	2	–	1	1	+	+
6			2	2	–	1	2	+	+
7			2	2	–	1	3	+	+
8			2	2	–	1	4	+	+
9	Рисунок 2.1.Б		–	–	–	2	1	+	+
10			–	–	+	2	4	+	+
11			–	–	+	1	3	+	+
12			–	–	+	1	2	+	+

Окончание таблицы Д

Варианты по химико-гальваническому меднению неорганических диэлектриков

Вариант	Технологическая схема	Материал	Номера растворов					Метод контроля			
			Сенсибилизация	Активация	Сенса́кция	Химическое меднение	Гальваническое осаждение меди	Толщины покрытия	Прочности сцепления		
13	Рисунок 2.1.А	Гетинакс	1	2	-	2	1	+	+		
14			1	2	-	2	3	+	+		
15			2	1	-	2	2	+	+		
16			2	2	-	2	4	+	+		
17			1	1	-	1	1	+	+		
18			1	2	-	1	3	+	+		
19			1	1	-	2	2	+	+		
20			1	1	-	2	4	+	+		
21			Рисунок 2.1.Б	Гетинакс	-	-	+	1	2	+	+
22					-	-	+	1	4	+	+
23	-	-			+	2	1	+	+		
24	-	-			+	2	3	+	+		

Работа 5

Поверхностные покрытия коррозионностойкими и декоративными материалами (4 часа, сам. работа 4 часа)

Содержание

1	Введение.....	3
2	Общие положения.....	3
2.1	Виды покрытий.....	3
2.2	Негальванические покрытия.....	4
2.3	Химические покрытия.....	5
2.4	Гальванические покрытия.....	6
3	Подготовка поверхности металлических изделий.....	12
3.1	Механическая обработка.....	12
3.2	Обезжиривание.....	13
3.3	Травление и декапирование.....	14
3.4	Общая схема подготовки поверхности изделий перед нанесением покрытий.....	14
4	Гальваническое осаждение цинка.....	15
4.1	Основные сведения.....	15
4.2	Пассивирование цинковых покрытий.....	16
5	Контроль качества покрытий.....	17
5.1	Методы контроля.....	17
5.2	Контроль покрытий по внешнему виду.....	17
5.3	Определение толщины покрытий.....	17
5.4	Определение пористости покрытий.....	21
5.5	Оценка прочности сцепления покрытий.....	22
6	Порядок выполнения работы.....	22
7	Содержание отчета.....	23
8	Вопросы для самопроверки.....	23
9	Безопасность проведения работ.....	24
	Список использованных источников.....	24

1 ВВЕДЕНИЕ

При выполнении данной работы студенты должны закрепить основные теоретические знания по методам нанесения декоративных и коррозионностойких материалов; приобрести практические навыки по гальваническому (электролитическому) покрытию металлов цинком (никелем); ознакомиться с контролем качества покрытий.

2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Виды покрытий

Большое значение в производстве радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и электронно-вычислительной (ЭВА) имеют поверхностные покрытия, придающие изделиям защитные, защитно-декоративные и функциональные свойства, обеспечивающие их надежную и долговечную работу в различных эксплуатационных условиях.

В производстве РЭА (ЭВА) покрытия различают по основному назначению и по способу нанесения.

По основному назначению покрытия разделяют на защитные, защитно-декоративные и специальные.

Защитные покрытия служат для предотвращения коррозии металла деталей в условиях эксплуатации.

Защитно-декоративные покрытия наносят на детали, требующие декоративной отделки при одновременной защите их в процессе эксплуатации от коррозии.

Специальные покрытия предназначаются для сообщения поверхности деталей особых свойств или защиты основного металла деталей от влияния особых сред. Например, серебрение применяется для повышения поверхностной электропроводности токонесущих деталей, меднение деталей – с целью их защиты от науглероживания при цементации; специальные покрытия применяют также для изготовления элементов аппаратуры, таких, как непроволочные сопротивления и другие.

По способу нанесения различают покрытия металлические негальванические, химические и гальванические.

Все покрытия независимо от их назначения должны удовлетворять общему требованию: они должны иметь прочное сцепление с изделиями, на которые они наносятся, и составлять с ними как бы одно целое. Покрытие не должно отслаиваться от изделий под действием вибраций, ударов, многократного изгиба.

2.2 Негальванические покрытия

К негальваническим покрытиям относятся: вакуумное испарение, катодное распыление, горячее распыление, горячая металлизация, лакокрасочные.

Метод вакуумного испарения позволяет наносить любые пленки: проводящие, диэлектрические, резистивные, полупроводниковые, магнитные, защитные на изделия при однообразном технологическом цикле. Скорость испарения определяется упругостью паров данного вещества и давлением остаточного газа под колпаком вакуумной камеры. Толщина слоя покрытия зависит от скорости и времени испарения вещества.

Недостаток метода - длительность процесса и малый коэффициент использования вещества, которые осаждаются не только на покрываемом изделии, но и на поверхности всех деталей, находящихся под колпаком, а также и на внутренних его стенках.

Метод катодного распыления основан на явлении переноса металла с катода на анод при тлеющем разряде в газах при сравнительно высоком давлении $133 (10^{-2} - 10^{-1})$ Па. Обработываемое изделие помещают в поток ионизированного газа параллельно катоду. Перенос частиц металла происходит при напряжении от 1 до 10 кВ по всей поверхности, покрытой разрядом.

Метод катодного распыления удобен тем, что скорость процесса легко поддается управлению. Регулируя величину тока разряда, можно изменять время распыления от долей секунд до нескольких часов.

Недостаток метода – непереносимое присутствие газа (обычно аргон), что часто приводит к захвату его атомов и прочному их включению в осаждаемую пленку, а также в трудности распыления некоторых тугоплавких металлов и сплавов.

Горячее распыление заключается в том, что расплавленный металл распыляется сжатым газом, осаждаясь при этом

на поверхности обрабатываемого изделия. С помощью данного метода на поверхность любого материала можно нанести любое металлическое покрытие.

Г о р я ч а я м е т а л л и з а ц и я применяется для нанесения покрытия на металлические изделия. Широко распространены горячее лужение и цинкование, которое осуществляется погружением изделия в расплавленный металл после предварительной тщательной очистки его поверхности.

Л а к о к р а с о ч н ы е п о к р ы т и я представляют собой пленку лака или краски, нанесенную в один или несколько слоев на поверхность детали и высушенную при определенном температурном режиме.

2.3 Химические покрытия

Химические покрытия представляют собой тонкий плотный слой окисла металла детали, образующийся на ее поверхности под действием тех или иных реагентов. Наиболее широкое применение из химических покрытий получили оксидирование, пассивирование, фосфатирование и азотирование.

О к с и д и р о в а н и е представляет собой процесс создания окисной пленки исходного металла на поверхности деталей. Химическое и электрохимическое оксидирование производится в щелочных и кислых растворах. Защитная пленка при химическом окислении имеет толщину до 1 мкм, при электрохимическом (анодном) оксидировании толщина защитных пленок зависит от требований, предъявляемых к эксплуатационным характеристикам покрытий, и изменяется от единиц до сотен микрометров. Такой способ, в частности, используется для получения изоляционных пленок на трансформаторных пластинах. Оксидирование – надежный способ защиты от коррозии стальных деталей, а также деталей из алюминия, меди, магния и их сплавов.

П а с с и в и р о в а н и е – образование очень тонких окисных пленок на цветных металлах с участием окислов хрома. Пассивирование проводят в подкисленном растворе хромпика.

Ф о с ф а т и р о в а н и е – химический процесс образования, на поверхности деталей пленки нерастворимых фосфорнокислых солей. Пленка имеет шероховатую поверхность, обладает высокой адсор-

бционной способностью, является хорошим грунтом для лаков, красок, прочно сцепляется с основным металлом. Фосфатная пленка неэлектропроводна, не паяется и не выдерживает ударов. Фосфатирование практически не изменяет размеров детали, так как наряду с ростом толщины пленки происходит уменьшение толщины металла за счет его растворения. Фосфатные покрытия используются для изоляции трансформаторных, роторных и статорных пластин, а также для изоляции поверхности при лужении, цинковании и т.п.

Азотирование состоит в насыщении поверхности стальных деталей азотом в токе аммиака при температуре 500-600⁰С. Антикоррозионному азотированию подвергают детали из малоуглеродистых сталей. Надежная защита от коррозии – отсутствие пор, поэтому продолжительность азотирования определяется получением беспористого слоя.

2.4 Гальванические покрытия

2.4.1 Общие сведения

Гальванотехника - один из наиболее распространенных видов электротехнического производства, который включает процессы нанесения покрытий в виде металлов и сплавов с целью защиты изделий от коррозии, защитно-декоративной отделки, сообщения антифрикционных свойств, повышения сопротивления механическому износу и поверхностной твердости, отражательной способности (гальваностегии), изготовление и размножение металлических копий (гальванопластика) и т.д.

В последнее время перед гальванотехникой поставлен ряд новых задач: получение покрытий с особыми физико-химическими свойствами, применение интенсифицированных режимов, автоматического регулирования и контроля, автоматизация оборудования.

Гальванический метод по сравнению с другими имеет следующие преимущества: возможность получения покрытий разнообразной структуры и различной, легко регулируемой толщиной (от долей микрометра до нескольких миллиметров) на металлических и неметаллических изделиях; получение покрытий одного и того же металла с различными механическими свойствами; возможность получе-

ния сплавов (без применения высоких температур) разнообразного состава и фазового строения.

Недостатком метода является лишь неравномерность покрытий по толщине на изделиях сложной конфигурации.

При выборе способа защиты металлических деталей от коррозии путем нанесения гальванических покрытий из других металлов исходят из электрохимических свойств металла в данной среде. Одним из этих свойств является способность металла с определенной силой переходить в раствор в указанной среде. Эта сила характеризуется электрохимическим потенциалом, выражаемом в вольтах (таблица 2.1).

Таблица 2.1-Значения электрохимического потенциала E_0 для различных металлов

Металлы	$E_0, В$	Металлы	$E_0, В$
Литий	-3,02	Никель	-0,25
Магний	-1,55	Олово	-0,14
Алюминий	-1,30	Свинец	-0,13
Цинк	-0,76	Водород	-0,00
Хром	-0,56	Медь	0,34
Железо	-0,44	Серебро	0,81
Кадмий	-0,40	Золото	1,50

В зависимости от характера защиты изделий от коррозии металлические покрытия подразделяют на анодные и катодные. Анодными называют покрытия, электрохимический потенциал металла которых в данной среде более электроотрицателен, чем электрохимический потенциал основного металла. Катодными называют покрытия с обратным соотношением потенциалов.

На рисунке 2.1 показана схема коррозии луженого и оцинкованного железа. При повреждении оловянного покрытия (рисунок 2.1 а) и соприкосновения его с влагой образуется гальванический элемент. Поскольку электрохимический потенциал железа (-0,44 В) электроотрицательнее олова (-0,14 В), т.е. железо является наиболее активным элементом системы Fe-Sn, то железо растворяется, а на олове разряжаются ионы водорода H^+ , образуя газообразный водород.

Поэтому катодные покрытия имеют чисто механический механизм защиты основного металла. В случае повреждения цинкового покрытия (рисунок 2.1 б) в образовавшемся гальваническом элементе происходит растворение цинка (-0,76 В), а железо, имеющее менее электроотрицательный потенциал, не разрушается. Таким образом, электрохимически предохраняет железо от коррозии.

К наиболее распространенным в практике изготовления РЭА (ЭВА) защитным покрытиям относятся цинковые, кадмиевые, никелевые, золочение, серебрение и покрытие сплавом олово-свинец.

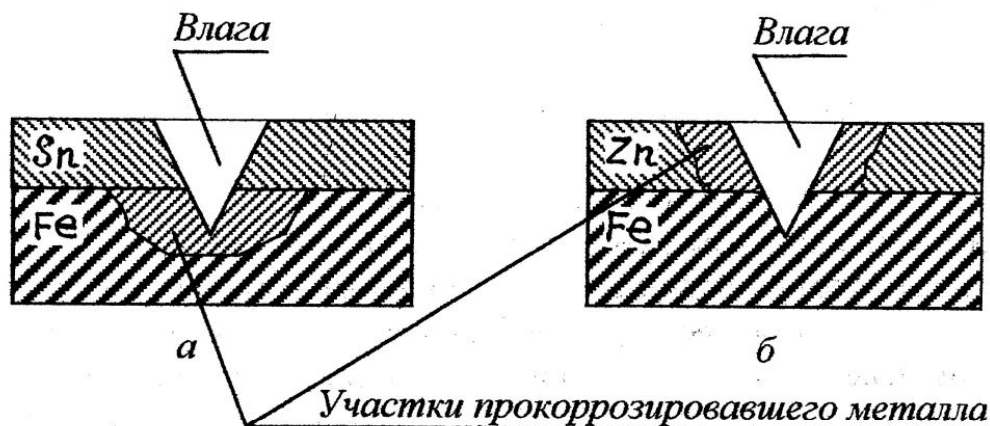


Рисунок 2.1- Схема коррозии железа

Лучшими защитными свойствами обладают анодные покрытия, имеющие более электроотрицательный потенциал по отношению к основному металлу изделия, благодаря чему обеспечивается электрохимическая защита ее поверхности от коррозии. Защитные свойства таких покрытий в меньшей степени зависят от их пористости.

Однако должны быть введены некоторые ограничения на применение анодных покрытий:

- техническими условиями предусмотрены требования к товарному виду изделий (в этом случае необходима их дополнительная защита);
- образование продуктов коррозии на поверхности деталей нарушает работоспособность приборов.

При катодном характере защитных покрытий последние должны полностью изолировать металл изделия от воздействия окружающей среды. Это может быть обеспечено только при отсутствии пор в покрытиях. Так как пористость последних зависит, в

частности, от микрогеометрии покрываемой поверхности и условий электрокристаллизации осаждаемого металла, то особенно важно рекомендации по выбору оптимальных толщин гальванических покрытий рассматривать во взаимосвязи с этими факторами. К катодным покрытиям относятся большинство защитно-декоративных покрытий.

2.4.2 Основные сведения по гальванотехнике

Гальваническое осаждение металлов – это электрохимический процесс, который определяется непосредственным участием силы электрического тока как основного параметра технологического режима. Осаждение металлов на катоде или растворение их на аноде происходит в соответствии с законом Фарадея $m = kq$.

При электрическом разложении различных электролитов одним и тем же потоком электричества q количество полученного на электродах продукта m пропорционально их химическим эквивалентам k . Количество вещества, выделившееся на электродах при прохождении через электролит одного кулона или одного ампер-часа электричества, называется электрохимическим эквивалентом. Химический эквивалент выделяется при прохождении вполне определенного количества электричества.

Значения электрохимических эквивалентов, атомных масс и число элементарных зарядов иона осаждаемых металлов представлены в таблице 2.2.

Основными критериями рационального использования энергии при гальваническом осаждении металлов служат выход по току и плотность тока.

Выход по току η называется отношение количества вещества, действительно полученного при электролизе m , к количеству вещества m_T , которое должно быть получено по законам Фарадея при той же затрате электричества:

$$\eta = m / m_T \quad (2.1)$$

При электролизе на катоде, как правило, кроме металла выделяется также и водород. Вследствие этого практически выделенное количество металла всегда меньше, чем рассчитанное теоретически.

Таблица 2.2 – Значения электрохимического эквивалента E , атомной массы A и числа элементарных зарядов иона Z , осаждаемых металлов

Металл	Число элементарных зарядов ионов	Атомная масса	Электрохимический эквивалент, г/А·ч
Алюминий	3	26,98	0,335
Железо	2	55,85	1,042
Железо	3	55,85	0,694
Золото	1	196,97	7,357
Золото	3	197,97	2,352
Кадмий	2	112,40	2,097
Серебро	1	107,87	4,027
Медь	2	63,54	1,186
Медь	1	63,54	2,370
Никель	2	58,70	1,095
Цинк	2	65,37	1,219

Теоретическое количество, выделяющегося при электролизе металла m_T определяется законом Фарадея:

$$m_T = (Aq)/(ZF), \quad (2.2)$$

или

$$m_T = I\tau E, \quad (2.3)$$

где m_T - количество выделяющегося вещества, г;

A - атомная масса металла;

q - количество электричества, прошедшее через электролит, Кл;

Z - число элементарных зарядов иона;

F - 96486 Кл/моль - число Фарадея;

I - сила электрического тока, А;

τ - продолжительность электролиза, ч;

E - электрохимический эквивалент, г/(А·ч).

Для определения силы электрического тока I на гальванической ванне необходимо заданную режимом плотность тока j умножить на суммарную поверхность деталей S одновременно загруженных в ванну.

2.4.3 Структура гальванических покрытий

При электроосаждении металлов одной из главных характеристик, определяющих правильность технологического процесса и качество нанесения металлов, является их структура. Покрытия должны быть по возможности мелкозернистыми, плотными, гладкими, равномерными по толщине. Такие осадки обладают меньшей пористостью и, следовательно, лучше защищают металл от коррозии; они характеризуются также более высокими механическими свойствами.

Согласно существующим представлениям, величина зерна осадки определяется соотношением скоростей образования кристаллических зародышей и роста уже образовавшихся кристаллов. Чем больше вероятность образования зародышей, тем больше их возникает в единицу времени и тем, следовательно, меньше размер зерен осадки. Вероятность образования кристаллических зародышей, повышающих поляризацию, способствует зарождению новых кристаллов и вызывает получение мелкозернистых осадков. Наоборот, с уменьшением катодной поляризации скорость образования кристаллических зародышей понижается и осадок получается крупнозернистым.

Заметное влияние на катодную поляризацию оказывают: концентрация ионов осаждаемого металла, адсорбция поверхностно-активных веществ, плотность тока и температура электролита.

Уменьшение концентрации ионов выделяемого металла увеличивает поляризацию, скорость образования новых зародышей кристаллов возрастает, и осадок становится мелкозернистым. Однако разбавление электролита снижает предельную плотность тока, а в ряде случаев заметно уменьшает выход по току.

Поверхностно-активные вещества, вводимые в электролит, адсорбируются на поверхности катода, экранируя его. В результате этого резко сокращается рабочая поверхность катода и повышается истинная плотность тока, что приводит к возрастанию катодной поляризации.

Повышение плотности тока обычно приводит к возрастанию поляризации и уменьшению величины зерна в осадке. Повышать плотность тока лишь до предельного значения, после которого наступает нарушение процесса. Вследствие сильного обеднения прикатодного слоя ионами металла наблюдается неправильное отложения металла на краях катода в выступающих участках в виде ветвистых наростов-дендритов. При еще более высокой плотности тока катод покрывается губчатой порошкообразной массой, которая состоит из мелких отдельных кристаллов, непрочно связанных между собой и основой.

Влияние температуры электролита противоположно влиянию плотности тока. С повышением температуры катодная поляризация уменьшается и осадок становится более крупнокристаллическим. Возрастает и предельная плотность тока. Такое влияние температуры на катодную поляризацию связано с увеличением скорости диффузии ионов, а, следовательно, с уменьшением концентрационной поляризации.

3. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

3.1 Механическая обработка

Основными способами механической подготовки изделий перед покрытием является шлифование, механическое полирование, пескоструйная очистка и кварцевание. При шлифовании с поверхности изделия удаляются окалина, заусеницы, риски, раковины и другие неровности. Его осуществляют на специальных шлифовально-полировальных станках с помощью абразивных кругов. Обычно шлифование осуществляется в несколько приемов: сначала кругами с крупными зернами, а затем кругами с крупными зернами. Количество переходов должно быть тем больше, чем грубее поверхность изделий, поступающих на обработку.

Механическое полирование производится на таких же станках как шлифование. Цель этого процесса – удаление мельчайших неровностей с поверхности изделия и придание ей зеркального блеска. Полирование осуществляют с помощью эластичных кругов, на рабочую поверхность которых наносится слой полировочной пасты.

Сравнительно новым способом подготовки поверхности металлов является химическое полирование.

В процессе полирования на металле образуется тонкая окисная пленка, которая затрудняет растравливание металла под действием раствора. Толщина окисной пленки меньше на микровыступах поверхности и больше в микровпадинах. Кроме того, в микровпадинах удерживается вязкий слой продуктов реакции с раствором. Все это приводит к тому, что микровыступы растворяются быстрее, чем микровпадины и, следовательно, происходит сглаживание неровностей на поверхности металла.

Химическое полирование имеет ряд преимуществ по сравнению с механическим. К ним относятся снижение трудоемкости операций, высокая эффективность и производительность процесса. Химическая полировка применяется в тех случаях, когда механическая полировка затруднена, а поверхность изделий требует зеркального блеска.

Для углеродистой стали с содержанием углерода более 0,5% можно применять при комнатной температуре раствор, содержащий в 1 л 500 г хромовой кислоты и 150 мл серной кислоты (плотность 1,84 г/см³)

3.2 Обезжиривание

Поверхность металла часто бывает покрыта пленкой жира или смазочного масла. Эта пленка появляется в результате предшествующей обработки с применением жиров и масел, а также от прикосновения рук. Такая пленка не смачивается электролитом и препятствует осаждению металла. Поэтому все изделия перед гальваническим покрытием подвергают обезжириванию. Обезжиривание происходит в органических растворителях и щелочных растворах. В качестве органических растворителей можно применять: бензин, четыреххлористый углерод, бензол, дихлорэтилен, трихлорэтилен и другие. Промывку в органических растворителях применяют для очистки от минеральных масел. Наиболее эффективные результаты получаются при обработке деталей в горячих щелочных растворах (70-90⁰С), которые полностью удаляют жиры растительного и животного происхождения.

Для небольших деталей сложной формы, требующих высокой степени чистоты, применяют ультразвуковую очистку.

Процесс ультразвуковой очистки происходит за счет больших усилий, развиваемых при кавитации. Для ускорения процесса используют растворы, химически действующие на загрязненные детали.

3.3. Травление и декапирование

Операция травления обычно следует за обезжириванием и производится с целью удаления с поверхности металла окислов. В качестве реагентов используют соляную кислоту с концентрацией 10% или серную – 20-30 % при температуре не выше 40⁰С.

Заключительной операцией подготовки изделий перед осаждением на них гальванических покрытий является декапирование (легкое травление). Это процесс удаления тонкой пленки окислов, образующихся на уже подготовленной к покрытию поверхности металла (во время транспортировки или длительного хранения). Декапирование производится непосредственно перед погружением изделий в гальваническую ванну. Благодаря легкому протравливанию металлической поверхности обеспечивается наилучшее сцепление основного металла с гальваническим покрытием. Для химического декапирования стали применяют 3-5% раствор серной или соляной кислоты. Продолжительность декапирования 1–3 мин.

3.4 Общая схема подготовки поверхности изделий перед нанесением покрытий

Схема подготовки поверхности изделий зависит от начального состояния поверхности, материала деталей и вида покрытия.

Для деталей, содержащих на поверхности продукты коррозии, микронеровности, жиры и масла, может быть предложена следующая схема подготовки:

- 1) механическая обработка;
- 2) обезжиривание в органических растворителях;
- 3) обезжиривание химическое;
- 4) промывка в проточной и непроточной воде;
- 5) травление (декапирование);
- 6) промывка в непроточной и проточной воде;
- 7) нанесение покрытия.

4 ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ЦИНКА

4.1 Основные сведения

Цинк – металл голубовато-серебристого цвета со следующими физическими свойствами: плотность – $7,13 \text{ г/см}^3$; температура плавления – 420°C ; микротвердость электролитического цинка – 500-1480 МПа; удельное электрическое сопротивление – $0,055 \text{ Ом}\cdot\text{мм}$, удельная теплоемкость – $385,2 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$; электрохимический потенциал – $0,76 \text{ В}$.

Цинкование – это типичное анодное покрытие, применяемое почти исключительно для защиты черных металлов. Цинковое покрытие выдерживает развальцовку и изгибы, плохо паяется и сваривается, не поддается обслуживанию. В сухом воздухе цинковое покрытие устойчиво. В присутствии влаги при нормальной температуре образуется окисная пленка толщиной 5–10 Å, обладающая защитными свойствами. Во влажной среде при $60\text{--}80^\circ\text{C}$ цинк быстро корродирует. Морская вода и кислоты особенно быстро разрушают цинковые покрытия.

Электролитическое осаждение цинка из водных растворов его солей, несмотря на большой отрицательный электрохимический потенциал этого металла, достигается благодаря высокому значению перенапряжения выделения водорода на цинке, поэтому при обычных условиях электролиза водород почти не выделяется на катоде.

Толщина цинковых покрытий в зависимости от условий службы колеблется обычно от 7 до 50 мкм.

Для цинкования применяют кислые и цианистые электролиты. Цианистые электролиты позволяют получить более высокое качество покрытия, поэтому их используют при сложной форме изделия. Однако цианистые ванны ядовиты, и эксплуатация их требует надежной вытяжной вентиляции. Кислые электролиты применяются для цинкования изделий несложной формы. В таблице 4.1 приведены составы сернокислых электролитов и режимы цинкования.

Основной компонент цинковых сернокислых электролитов – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (сернокислый цинк). $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ вводится для увеличения электропроводности раствора и увеличения катодной поляризации, способствующей улучшению растворяющей способности

электролита. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ вводится с целью стабилизации значения pH. Хорошие цинковые покрытия получаются при значении $pH = 3,5-4,5$. Применение органических добавок (декстрина) способствует повышению катодной поляризации. Одновременно улучшается и структура осадков.

Таблица 4.1-Составы сернокислых электролитов и режимы цинкования

Состав электролита	Количество компонентов, г/л	Плотность тока, А/дм ²	Температура, °С	pH
Сернокислый цинк	200-300			
Сернокислый натрий	50-160	1-2 3-5	18-25	3,5 - 4,5
Сернокислый алюминий (алюминиевые квасцы)	25-30			
Декстрин	8-10			
Сернокислый цинк	430-500			
Сернокислый натрий (безводный)	50	1-3 8-10	18-40	3,5 - 4,5
Сернокислый алюминий (безводный)	30			

4.2 Пассивирование цинковых покрытий

Для повышения коррозионной устойчивости цинковых покрытий применяют пассивирование в растворах хромовой кислоты и их солей.

Для пассивирования цинковых покрытий, полученных из кислых электролитов, применяют раствор следующего состава:

CrO_3	150 г/л;
H_2SO_4 (плотность 1,84 г / см ³)	20 мл/л;
HNO_3 (плотность 1,84 г/ см ³)	20 мл/л.

Температура этого раствора 15–20⁰С , продолжительность обработки 5–10 с.

Цинковые покрытия, обработанные этим раствором одновременно пассивируются и осветляются. После пассивирования изделие необходимо промыть в холодной проточной воде и затем высушить на воздухе при комнатной температуре.

5 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ

5.1 Методы контроля

Контроль качества гальванических покрытий осуществляется путем следующих испытаний:

- 1) осмотра внешнего вида;
- 2) определение толщины и пористости;
- 3) оценка прочности сцепления покрытий;
- 4) испытания коррозионной стойкости.

5.2 Контроль покрытий по внешнему виду

Внешний осмотр покрытий производят с целью выявления таких дефектов как шероховатость, точечная пористость (Питтинг), отслаивание, механические повреждения (царапины), неоднородность оттенка, непокрытые участки.

Перечень допустимых и недопустимых дефектов определяется техническими условиями на изделие.

5.3 Определение толщины покрытия

5.3.1 Методы определения толщины покрытия

Толщина покрытия определяется химическими и физическими методами. К химическим методам относятся: струйно – объемный и капельный метод. Суть химических методов заключается в растворении покрытия последовательно наносимыми каплями или струей растворителя до обнажения основного металла.

К физическим методам контроля толщины покрытий без разрушения можно отнести следующие: взвешивание до и после покрытия, магнитный и радиоактивный методы.

5.3.2 Струйно—объемный метод

Расчет местной толщины покрытия производят по объему раствора, израсходованного до полного снятия покрытия в месте падения струи раствора.

Прибор состоит из лабораторной бюретки емкостью 50 мл со стеклянным краном, к нижнему концу которой на резиновой трубке прикреплен калибровочный капилляр. Калибровочный капилляр подбирается таким образом, чтобы за 30 с из него выливалось 10 мл дистиллированной воды. Состав раствора для растворения цинкового покрытия следующий:

NH_4NO_3	- 70 г/л;
HCl	- 1Н раствор 70мл/л;
CuSO_4	- 7 г/л.

Испытываемую деталь перед определением обезжиривают окисью магния или венской известью, тщательно промывают и высушивают.

Оцинкованные детали промывают ватным тампоном, обернутым и смоченным слабым раствором соляной кислоты, промывают водой и просушивают. После этого открывают кран на бюретке и одновременно включают секундомер.

Через 5–10 с кран закрывают, останавливают секундомер и осматривают пятно. Если покрытие не растворилось, то операцию повторяют до полного растворения покрытия, т.е. до появления характерного пятнышка (обычно розового цвета), установив время действия струи, производят повторное определение, прерывая струю лишь к концу испытания. Если выделяется при этом шлам, препятствующий наблюдению конца растворения покрытия, его снимают осторожно фильтрованной бумагой.

Расчет толщины покрытия h осуществляется по формуле

$$h = h_v V, \quad (5.1)$$

где h_v - толщина покрытия, снимаемая 1 мл раствора, мкм (определяется из табл. 5.1);

V - объем раствора, затраченный на растворение покрытия, мл.

Таблица 5.1 – Зависимость скорости растворения покрытия от температуры при струйно-объемном методе

Температура раствора, °С	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Толщина покрытия, снимаемая 1 мл раствора, мкм	1,54			1,64			1,77		
		1,59			1,69			1,84	
			1,61			1,74			1,89

Примечание. Точность определения толщины покрытия струйно-объемным методом $\pm 15\%$

5.3.3 Капельный метод

Сущность капельного метода заключается в том, что на участок поверхности покрытия наносят каплю раствора и выдерживают ее некоторое время, затем на это место наносят вторую каплю, предварительно сняв фильтрованной бумагой первую, и повторяют операцию до тех пор, пока на месте стертой обнаружится основной металл детали.

Состав раствора для определения толщины цинкового покрытия капельным методом:

J_2 кристаллический – 100 г / л;

KJ – 200 г / л.

Продолжительность выдержки капли – 60 с. Поверхность детали перед испытанием должна быть обезжирена, промыта и высушена.

Расчет местной толщины покрытия производится по формуле

$$h = (n - 0,5)h_K, \quad (5.2)$$

где n – число капель раствора, которое требуется для обнаружения основного металла;

h_k – толщина покрытия снимается одной каплей в течение заданного времени, мкм (определяется по таблице 5.2)

Таблица 5.2 - Значение коэффициента h_k при определении толщины покрытий капельным методом

Температура раствора, °С	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Толщина покрытия, снимаемая одной каплей, мкм	0,96			1,09			1,24		
		1,01			1,14			1,27	
			1,05			1,18			1,32

Примечание. Точность определения толщины покрытия капельным методом $\pm 20\%$

5.3.4 Метод взвешивания

Применяется для изделий, которые могут быть взвешены и измерены с достаточной степенью точности.

Расчет толщины покрытия может быть произведен по формуле

$$h_{cp} = P / 10 S \rho, \quad (5.3)$$

где h_{cp} – толщина покрытия, мм;

P – вес покрытия, г;

S – поверхность покрытия, дм^2 ;

ρ – плотность, г/см^3 .

Прибыль в весе на 1 г металла на 1 дм^2 поверхности соответственно следующей толщине осадков:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1) серебро - 9,5 мкм; | 5) никель - 11,5 мкм; |
| 2) золото - 5,1 мкм; | 6) хром - 15,4 мкм; |
| 3) кадмий - 11,6 мкм; | 7) олово - 13,7 мкм; |
| 4) цинк - 14,3 мкм; | 8) медь - 11,2 мкм. |

Другие физические методы контроля толщины покрытий основаны на различии магнитных проницаемостей материалов детали и покрытия и др. Для этого используются такие приборы : ИТП – 5; ЭТУ – 2; УМТ – 3.

5.4 Определение пористости покрытий

Поры могут быть сквозными, т.е. доходящими до основного металла или замкнутыми. Они могут иметь разнообразную форму и отличаться по своим размерам. Для выявления пор испытуемый образец обрабатывают специальным раствором. Такой раствор, действуя на материал покрытия, должен реагировать через поры с металлом основы, образуя хорошо видимые продукты реакции.

Универсальным реагентом является раствор феррицианида калия, $K_3[Fe(CN)_6]$, который, реагируя с ионами железа, образует феррицианид железа, с ионами никеля – феррицианид никеля и т.д. Индикатор этот применим для определения пористости медных, никелевых, хромовых, свинцовых и оловянных, серебряных и золотых покрытий.

Определение пористости производят наложением фильтровальной бумаги, пропитанной этим раствором на обезжиренную спиртом и высушенную поверхность детали. В местах пор на бумаге появляются точки. Их количество подсчитывается. Пористость выражается числом пор на 1 см^2 поверхности.

Количество пор регламентируется техническими условиями. Контроль пористости цинковых покрытий производят с универсальным индикатором, но для того, чтобы железо через поры реагировало с ним, применяют анодную поляризацию. Для этого подготовленную деталь погружают в ванну с раствором следующего состава:

$K_3[Fe(CN)_6]$ (феррицианид калия)	– 40 г/л;
Na_2SO_4 (или $MgSO_4$)	– 2 г/л.

Катодом служит свинцовая пластинка. Электролиз ведут при напряжении $(4 \pm 0,4)$ В в течении 5 мин, после чего деталь вынимают, промывают водой и высушивают фильтровальной бумагой или потоком теплого воздуха. В местах пор появляются синие точки. Поверхность детали измеряют и определяют число пор на 1 см^2 используемой поверхности.

5.5 Оценка прочности сцепления покрытий

5.5.1 Метод царапания.

На поверхности покрытия острым твердым инструментом наносят ряды пересекающихся между собой царапин. Место пересечения, царапин тщательно осматривают через лупу с семикратным увеличением или микроскоп, и, если отслаивание покрытия в этих точках не обнаруживается, сцепление считается удовлетворительным.

5.5.2 Метод перегиба

Образцы перегибают до перелома. Рассматривается место излома при помощи лупы, устанавливается степень прилегания покрытия к основному металлу, если покрытие удерживается на протяжении не менее 95% длины излома, то покрытие удовлетворительное.

5.5.3 Метод нагрева

Детали нагревают до температуры 200–250⁰С. Вследствие различия коэффициентов линейного расширения покрытия и основного металла, возникают значительные напряжения, способствующие отрыву покрытия. Если покрытие после нагревания не вспучится с образованием мелких или крупных вздутий, то прочность сцепления считается удовлетворительной. Такой метод особенно эффективен при оценке прочности сцепления покрытий из цинковых и алюминиевых сплавах.

6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1 Ознакомиться с методами нанесения декоративных и коррозионностойких материалов .

6.2 Получить у преподавателя вариант задания (материал рабочих образцов и поверхностных покрытий, толщину покрытия, параметры электролиза: плотность тока , температура , рН раствора).

6.3 По формуле (2.3) определить время нанесения покрытия (продолжительность электролиза).

6.4 Подготовить рабочие образцы к нанесению покрытия (раздел 3).

6.5 Провести гальваническое осаждение металлического покрытия на рабочие образцы при соответствующих параметрах электролиза.

6.6 Провести пассивирование поверхности (подраздел 4.1).

6.7 Осуществить контроль качества гальванического покрытия. Выбор методов оценки качества покрытий согласовать с преподавателем.

6.8 Сделать выводы .

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1 Наименование работы, цель.

7.2 Исходные данные .

7.3 Определение режимов гальванического осаждения металлического покрытия.

7.4 Основные этапы технологического процесса нанесения покрытий .

7.5 Общая схема подготовки поверхности изделий перед нанесением покрытий.

7.6 Определение толщины гальванических покрытий.

7.7 Определение пористости и прочности сцепления покрытий.

7.8 Выводы.

8 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

8.1 Какие существуют методы нанесения покрытий?

8.2 Катодные покрытия, механизм защиты основного металла. К какому типу, в основном, относятся катодные покрытия?

8.3 Анодные покрытия, механизм защиты основного металла.

8.4 Этапы подготовки поверхности изделий перед нанесением покрытий.

8.6 Какие существуют методы испытаний и контроля качества покрытий?

9 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

9.1 Все работы с электролитами, пассивирующими растворами и растворами для обезжиривания проводить только в вытяжном шкафу.

9.2 Избегать попадания брызг электролита и растворов на кожу и одежду.

9.3 Соблюдать правила электробезопасности для лиц, работающих с напряжением выше 36 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Черняев В.Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА. - М.: Высшая школа, 1987.-375 с.

2 Ушаков Н.Н. Технология элементов вычислительных машин.-М.: Высшая школа, 1976.-414 с

3 Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1981.-269 с.

4 Инженерная гальванотехника в приборостроении / Под ред. А.М. Гинберга . –М.: Машиностроение. 1977. –512 с.

5 ГОСТ 9.301 - 86. Покрyтия металличеcкие и неметаллические неорганические. Общие требования.