

1.3. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Цель лекции: изучение понятий классов точности и плотности проводящего рисунка. Ознакомление с методикой расчета геометрических параметров печатного монтажа с учетом технологических ограничений, в том числе с расчетом узких мест.

1.3.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ТОЧНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Конструктор задает класс точности (см. табл. 1.1) на рабочем чертеже ПП. Принятый на предприятии технологический процесс изготовления ПП должен обеспечить заданный класс точности. В процессе трассировки осуществляется прокладка сигнальных печатных проводников в габаритах рабочего поля платы при наличии всех элементов проводящего рисунка (контактные площадки, шины земли и питания, КПК, экраны) и конструктивных элементов ПП (геометрия наружного контура, конструкционные отверстия, пазы и окна, крепежные отверстия).

Таблица 1.1

Параметры ПП согласно классам точности

Наименование элемента печатного монтажа	Обозначение эл-та	Номинальное значение параметров для классов точности, мм						
		1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс	5-й класс	6-й класс	7-й класс
Минимальная ширина сигнального проводника	t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Минимальное расстояние между проводниками или любыми элементами проводящего рисунка	s	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Минимальная ширина круглой контактной площадки (гарантированный поясok, определяющий её целостность)	b_m	0,3	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015
Отношение наименьшего диаметра металлизированного отверстия $d_{\text{мю}}$ к толщине платы $H_{\text{пп}}$	γ	0,4	0,4	0,33	0,25	0,20	0,187	0,15 ... 0,125
Допуск на ширину элементов проводящего рисунка	δt	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03	0; -0,02	0; -0,015

При прокладывании проводников (рис. 1.14) между соседними круглыми (a) и планарными (b) контактными площадками, между контактной площадкой и краем ПП ($в$), между двумя неметаллизированными отверстиями ($г$)

возникают так называемые «узкие места», требующие минимальных значений $\frac{t}{s}$, соответствующих заданному классу точности. Необходим также расчет узких мест с учетом технологических возможностей выбранного метода изготовления проводящего рисунка.

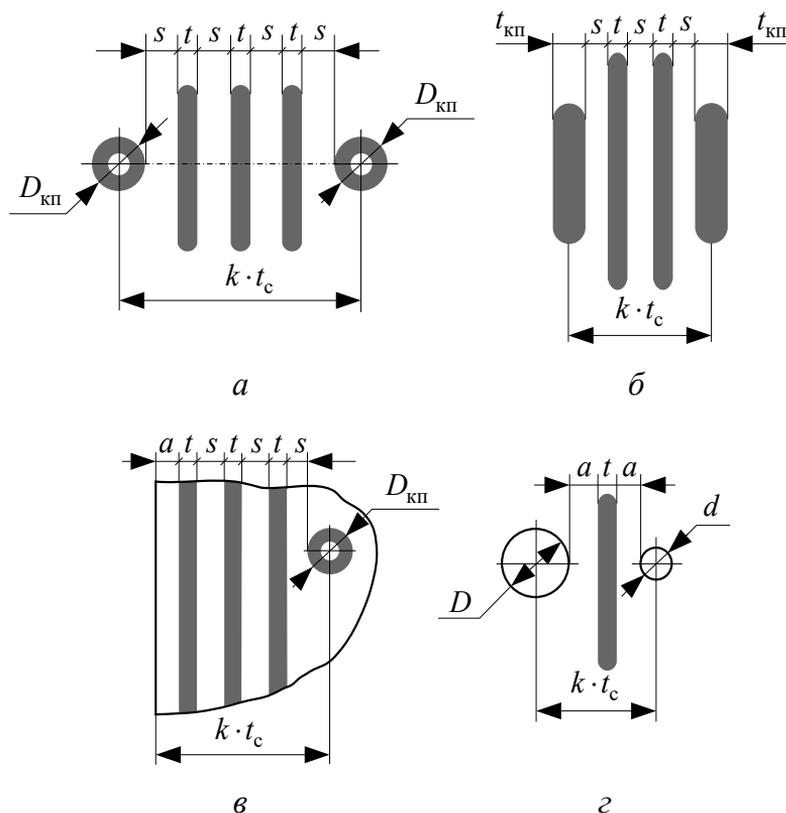


Рис. 1.18. Узкие места проводящего рисунка ПП: узкие места между: *а* – соседними круглыми КП; *б* – планарными КП; *в* – КП и краем ПП; *г* – двумя неметаллизированными отверстиями

Расчет предусматривает определение минимально возможного количества сигнальных проводников, прокладываемых в узком месте при заданном классе точности $\left(\frac{t}{s}\right)$, известных размерах контактных площадок ($D_{кп}$, $t_{кп}$) известных диаметрах неметаллизированных отверстий (D , d), минимально допустимом расстоянии $a \geq H_{пп}$ от проводника до края платы. При этом должно соблюдаться правило размещения конструктивных элементов ПП на расстояниях, кратных шагу координатной сетки: $k \cdot t_c$,

В связи с переходом на технологию поверхностного монтажа, уменьшением геометрических размеров КМП, увеличением количества выводов

ИМС и уменьшением шага между выводами (типы корпусов *QFP*, *PLCC*, *SOJ*, *BGA*) в отечественных стандартах можно ожидать более высоких классов точности с параметрами $\frac{t}{s} = 0,075; 0,05$.

Уместно привести зарубежные уровни точности ПП, существующие в настоящее время. Табл. 1.2 иллюстрирует необходимость корреляции уровня точности проводящего рисунка с шагом координатной сетки.

Таблица 1.2

Согласование параметров $\frac{t}{s}$ и t_c для зарубежных уровней точности ПП

Уровень точности	0	1	2	3	4	5
$\frac{t}{s}$, мм	0,2	0,15	0,1	0,075	0,05	0,025
t_c (наружные слои)	1,25	0,625	0,625	0,5	0,5	0,25

В настоящее время применяются следующие типы (табл. 1.8) печатных плат (ПП): односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП), многослойные (МПП) и гибкие (ГПП, ГПК) печатные платы. ПП делятся на группы: с межслойными соединениями, обеспечиваемыми в процессе изготовления послойным наращиванием, попарным прессованием, металлизацией сквозных отверстий; без межслойных соединений, определяемых конструкцией платы в виде открытых контактных площадок и выступающих выводов.

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. Толщина МПП определяется количеством слоев, прокладок и технологией их склеивания. Суммарная толщина склеивающих прокладок между смежными слоями должна быть не менее двух толщин проводников, располагающихся на внутренних слоях. Предельные отклонения толщины ОПП и ДПП определяются допуском на материал платы и толщину гальванических покрытий.

Предельные отклонения толщины МПП составляют: 0,15 мм – при толщине платы до 1 мм включительно; $\pm 0,20$ мм – при толщине 1–2 мм; $\pm 0,30$ мм – при толщине 2–3 мм.

Центры монтажных отверстий должны располагаться в узлах координатной сетки, шаг которой по ГОСТ 10317-72 равен 0,5 мм. Диаметры монтажных и переходных металлизированных отверстий в зависимости от диаметра вывода навесного элемента выбирают равными 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0 мм. Разница между диаметром вывода и диаметром металлизированного отверстия рекомендуется не более 0,4 мм – для выводов диаметром 0,4; 0,6; 0,8 мм; 0,6 мм – для выводов диаметром 1,0; 1,2; 1,5; 1,7 мм.

Металлизированные отверстия на двусторонних ПП, а также на наружных слоях МПП со стороны фольги должны иметь контактные площадки (КП). На внутренних слоях МПП контактные площадки должны быть у от-

верстий, электрически связанных с проводниками слоя. КП рекомендуется выполнять круглой или прямоугольной формы. Металлизированные отверстия должны выполняться без зенковки. Неметаллизированные отверстия односторонних печатных плат выполняются с зенковкой со стороны, обратной расположению рисунка печатного монтажа.

Печатные проводники рекомендуется выполнять одинаковой ширины на всем их протяжении. В узких местах, например между двумя соседними монтажными отверстиями, следует сужать проводники до минимально допустимых значений и прокладывать их перпендикулярно оси, соединяющей центры отверстий. Оси проводников рекомендуется совмещать с линиями координатной сетки. Элементы проводящего рисунка следует располагать от края платы, неметаллизированного отверстия, паза и других конструктивных элементов на расстоянии, равном номинальной толщине платы для плат толщиной менее 1 мм.

Все изготавливаемые ПП, соответствуют так называемым классам точности, определяющим параметры элементов проводящего рисунка. То, по какому классу точности будет изготовлена ПП, зависит от комплекса технологических возможностей производства.

В качестве материалов ПП применяют фольгированные и нефольгированные диэлектрики (табл. 1.4), прокладочную стеклоткань и электроизоляционную пленку для защиты ГПК. Нефольгированные диэлектрики, например СТЭФ-1-2ЛК, имеют на поверхности адгезивный слой толщиной 50–100 мкм (эпоксикаучуковая композиция) для обеспечения достаточной прочности сцепления с основанием осаждаемого слоя химической меди.

Максимальные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий указаны в табл. 1.3.

Следует отметить, что разработка новых методов изготовления ПП потребовала создания новых диэлектрических материалов. Например, нефольгированный диэлектрик с введенным катализатором и адгезивным слоем применяется для аддитивного метода, нефольгированный диэлектрик, покрываемый светочувствительной эмульсией водных растворов солей металлов, – для метода фотоформирования. Освоен промышленный выпуск материала слофадит-диэлектрика, покрытого с двух сторон тонким слоем фольги (5 мкм) и предназначенного для изготовления ДПП электрохимическим (полуаддитивным) методом.

Таблица 1.3

**Максимальные отклонения диаметров
монтажных и переходных отверстий**

Диаметр отверстия, мм	Наличие металлизации	Предельные отклонения диаметра $d_{но}$, мм, для классов точности						
		1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс	5-й класс	6-й класс	7-й класс
До 0,3 вкл.	без металлизации	-	-	-	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$
	с металлизацией без оплавления	-	-	-	-0,03; -0,07	0,03; -0,07	-0,02; -0,06	-0,02; -0,06
	с металлизацией с оплавлением	-	-	-	-	-	-	-
Свыше 0,3 до 1,0 вкл.	без металлизации	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$	$\pm 0,02$
	с металлизацией без оплавления	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	0; -0,10	0; -0,10	0; -0,075	-0,025; -0,075	-0,02; -0,05
	с металлизацией с оплавлением	+0,05; -0,18	+0,05; -0,12	0; -0,13	0; -0,13	0; -0,13	-	-
Свыше 1,0	без металлизации	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
	с металлизацией без оплавления	+0,10; -0,20	+0,10; -0,20	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	0; -0,10	-0,02; -0,08
	с металлизацией с оплавлением	+0,10; -0,23	+0,10; -0,23	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18	+0,03; -0,18	-	-

1.3.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Геометрические параметры и точность печатного монтажа непосредственно зависят от метода изготовления. При химическом и гальваническом способах осаждения меди происходит увеличение размеров токопроводящих участков за счет разращивания. Если пробельные места защищены краской (толщина 5–7 мкм), то разращивание будет большим и примерно соизмеримо с толщиной осаждаемого слоя меди. Если пробельные места защищены сухими пленочными фоторезистами (толщина 40–60 мкм), то разращивание осаждаемой меди будет минимальным.

Травление меди с пробельных мест сопровождается подтравливанием токопроводящих участков на величину, соизмеримую с глубиной травления. Подтравливание уменьшает эффективные размеры проводников и контактных площадок. При электрохимическом методе изготовления величина подтравливания меньше, чем при комбинированном позитивном, так как слой меди в пробельных местах имеет толщину 5–8 мкм (получен химико-гальванической металлизацией нефольгированного диэлектрика или применением материала слофадит с толщиной фольги 5 мкм).

При химическом способе осаждения токопроводящего слоя на нефольгированный диэлектрик подтравливание отсутствует, а разрачивание зависит от стойкости маски в щелочной среде ванны меднения (аддитивный метод) и исходной геометрии активированных участков диэлектрика в методе фотоформирования.

Производственный опыт показывает, что комбинированный позитивный метод позволяет получить, например, минимальную ширину проводников до 0,2 мм, электрохимический метод – до 0,1 мм, метод фотоформирования – до 0,05 мм. Следует также учитывать, что при гальваническом осаждении толщина слоя меди в отверстиях меньше, чем на поверхности, а на периферии платы больше, чем в центре платы. Поэтому принимают, что толщина гальванической меди в отверстиях в центре ПП должна быть не менее, чем 25 мкм.

Методика приведена в ОСТе 4.ГО.010.209 и предназначена для расчета элементов печатного монтажа ОПП и слоев МПП, изготавливаемых химическим методом, ДПП, изготавливаемых комбинированным позитивным и электрохимическим методами, МПП, изготавливаемых методом металлизации сквозных отверстий.

Методика расчета предусматривает базовый способ изготовления ОПП, ДПП, ГПК и МПП, а также способы А и Б изготовления внутренних слоев МПП при автоматизированном сверлении монтажных и переходных отверстий:

- способ А: отверстия выполняют на фотошаблонах, и на заготовках слоев, а совмещение их производится при помощи фиксирующих элементов;
- способ Б: базовые отверстия на слоях выполняются после получения печатного монтажа, относительно перекрестий (элементов рисунка), а совмещение слоев проводится на базовых штырях пресс-формы, перед прессованием слоев в МПП.

Рассчитываются диаметры контактных площадок D , ширина проводников t , минимальные расстояния между элементами печатного монтажа и расстояния, необходимые для прокладки n -го количества проводников между другими элементами платы. В расчетах учитываются условия и технологические факторы различных методов изготовления ПП.

Предельные значения технологических параметров (табл. 1.4) 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. Минимальные значения учитываются для перспективного оборудования и оснастки.

Таблица 1.4

Пределные значения технологических параметров

Наименование коэффициента	Обозначение	Величина
Толщина предварительно осажденной меди, мм	$h_{\text{им}}$	0,005–0,008
Толщина наращенной гальванической меди, мм	$h_{\text{г}}$	0,05–0,06
Толщина металлического резиста, мм	$h_{\text{р}}$	0,02
Погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка, мм	$\delta_{\text{о}}$	0,02–0,10
Погрешность базирования плат на сверлильном станке, мм	$\delta_{\text{б}}$	0,01–0,03
Погрешность расположения контактной площадки относительно координатной сетки на фотошаблоне, мм	$\delta_{\text{ш}}$	0,02–0,08
Погрешность расположения проводника относительно координатной сетки на фотошаблоне, мм	$\delta_{\text{шт}}$	0,03–0,06
Погрешность расположения печатных элементов при экспонировании на слое, мм	$\delta_{\text{э}}$	0,01–0,03
Погрешность расположения контактной площадки на слое из-за нестабильности линейных размеров, % от толщины	$\delta_{\text{м}}$	0–0,10
Погрешность расположения базовых отверстий на заготовке, мм	$\delta_{\text{з}}$	0,01–0,03
Погрешность положения базовых отверстий в фотошаблоне, мм	$\delta_{\text{п}}$	0,01–0,05
Погрешность положения контактной площадки на слое, обусловленная точностью пробивки базовых отверстий, мм	$\delta_{\text{пр}}$	0,03–0,05
Погрешность положения контактной площадки, обусловленная точностью изготовления штырей пресс-формы, мм	$\delta_{\text{пф}}$	0,02–0,05
Погрешность диаметра отверстия после сверления, мм	Δd	0,01–0,03
Погрешность изготовления окна фотошаблона, мм	$\Delta D_{\text{ш}}$	0,01–0,03
Погрешность на изготовление линии на фотошаблоне, мм	$\Delta l_{\text{ш}}$	0,03–0,06
Погрешность диаметра контактной площадки фотокопии при экспонировании рисунка, мм	$\Delta \text{Э}$	0,01–0,03

Примечание: δ – погрешность расположения; Δ – погрешность размеров.

В производственных условиях расчет элементов печатного монтажа ведут по производственно-технологическим показателям предприятия-разработчика. Основные формулы для расчета приведены в табл. 1.5.

Расчет диаметра контактных площадок ведется из условия сохранения целостности контактной площадки (отсутствие разрыва) при сверлении плат. Учитываются явления подтравливания и разрачивания проводящего слоя, погрешности относительного расположения отверстия и контактной площадки (рис. 1.15).

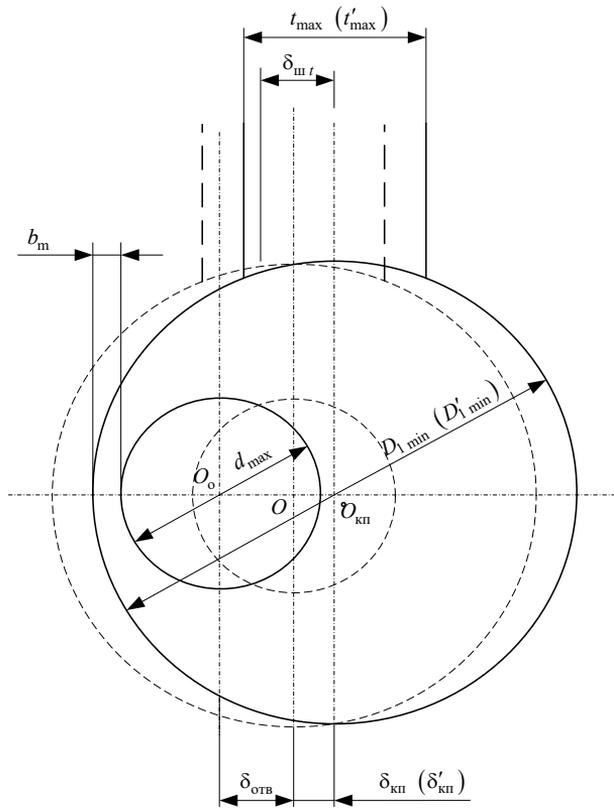


Рис. 1.19.Схема смещения контактной площадки и отверстия в ПП

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

$$D_{1\min} = 2 \left(b_M + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_{\text{отв}} + \delta_{\text{кп}} \right).$$

Наименование и величина каждой составляющей в приведенной и последующих формулах приведены в табл. 1.5.

При расчете минимального эффективного диаметра контактной площадки $D_{1\min}$ принимают величину b_M в соответствии с рассматриваемым классом платы (табл. 1.1). Максимальный диаметр монтажного отверстия равен $d_{\max} = d_{\text{св}} + \Delta d$, где Δd определяется точностью изготовления сверла и его биением. В свою очередь, рассчитывают $d_{\text{св}} = d_{\text{м отв}} + (0,1 \div 0,15)$. При этом $d_{\text{м отв}}$ выбирают из ряда, рекомендуемого ОСТом и с учетом собираемости со штыревыми выводами ЭРЭ и ИС. Следует отметить, что коэффициент $0,1-0,15$ – 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.

Возможно смещение центра монтажного отверстия $\delta_{\text{отв}}$ относительно координатной сетки (рис. 1.19) после сверления вследствие неточности сверлильного станка и погрешности базирования платы на станке. Оно определяется как $\delta_{\text{отв}} = \delta_o + \delta_6$. Смещение центра контактной площадки $\delta_{\text{кп}}$ (рис. 1.19) зависит от точности расположения ее рисунка а шаблоне, погрешности экспонирования, погрешностей расположения базовых отверстий в фотошаблоне и заготовке платы и определяется по формуле

$$\delta_{\text{кп}} = \delta_{\text{ш}} + \delta_3 + \frac{1}{2}(\delta_{\text{п}} + \delta_3).$$

При расчете $\delta_{\text{кп}}$ для внутренних слоев МПП, изготавливаемых по способу А, в приведенной контактной формуле добавляется член $\delta_{\text{м}}$, учитывающий смещение контактной площадки на слое вследствие линейной деформации материала. При толщине материала $H_{\text{м}} = 0,1 \div 0,2$ мм – $\delta_{\text{м}} = 0,05\% H_{\text{м}}$; при $H_{\text{м}} = 0,2 \div 0,25$ мм – $\delta_{\text{м}} = 0,03\% H_{\text{м}}$; при $H_{\text{м}} = 0,5$ мм и более – $\delta_{\text{м}} = 0$.

При изготовлении слоев МПП по способу Б:

$$\delta'_{\text{кп}} = \delta_{\text{ш}} + \delta_3 + \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{пф}}/2.$$

Расчет ширины проводников ведется из условия сохранения достаточной прочности сцепления проводника с диэлектриком, зависящей от адгезионных свойств материала основания и гальваностойкостифольги. Минимальная эффективная ширина проводника $t_{1\text{min}}$ определена экспериментально и равна 0,14 мм для плат 1-го, 2-го, 3-го классов и 0,08 мм для 4-го и 5-го классов точности.

При выполнении домашнего задания $t_{1\text{min}}$ следует выбирать из табл. 1.1 в соответствии с заданным классом точности платы.

Таблица 1.5

Основные формулы для расчета диаметра контактных площадок (D), ширины проводников (t) и соответствующих размеров шаблонов ($D_{ш}$, $t_{ш}$) при различных методах изготовления печатного монтажа и с учетом технологических факторов

Обозначение	Химический метод	Комбинированный позитивный метод с получением рисунка:		Электрохимический (полуаддитивный) метод с получением рисунка:	
		фотохимическим способом	сеточно-графическим способом	фотохимическим способом	сеточно-графическим способом
D_{min}	$D_{1 min} + 1,5h_{\phi}$	$D_{1 min} + 1,5(h_{\phi} + h_{nm}) + h_p$	$D_{1 min} + 1,5(h_{\phi} + h_{nm}) + h_z + h_p$	$D_{1 min} + 1,5h_{nm} + h_p$	$D_{1 min} + 1,5h_{nm} + h_z + h_p$
t_{min}	$t_{1 min} + 1,5h_{\phi}$	$t_{1 min} + 1,5(h_{\phi} + h_{nm}) + h_p$	$t_{1 min} + 1,5(h_{\phi} + h_{nm}) + h_z + h_p$	$t_{1 min} + 1,5h_{nm} + h_p$	$t_{1 min} + 1,5h_{nm} + h_z + h_p$
$D_{ш min}$	$D_{min} + \Delta \mathcal{E}$	$D_{min} - h_p$	$D_{min} - (h_z + h_p)$	$D_{min} - h_p$	$D_{min} - (h_z + h_p)$
$t_{ш min}$	$t_{min} + \Delta \mathcal{E}$	$t_{min} - h_p$	$t_{min} - (h_z + h_p)$	$t_{min} - h_p$	$t_{min} - (h_z + h_p)$
$D_{ш max}$	$D_{ш min} + D_{ш}$	$D_{ш min} + \Delta D_{ш}$	$D_{ш min} + \Delta D_{ш}$	$D_{ш min} + \Delta D_{ш}$	$D_{ш min} + \Delta D_{ш}$
$t_{ш max}$	$t_{ш min} + t_{ш}$	$t_{ш min} + \Delta t_{ш}$	$t_{ш min} + \Delta t_{ш}$	$t_{ш min} + \Delta t_{ш}$	$t_{ш min} + \Delta t_{ш}$
D_{max}	$D_{ш max} + \Delta \mathcal{E}$	$D_{ш max} + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$D_{ш max} + h_z + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$D_{ш max} + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$D_{ш max} + h_z + h_p + \Delta \mathcal{E}$
t_{max}	$t_{ш max} + \Delta \mathcal{E}$	$t_{ш max} + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$t_{ш max} + h_z + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$t_{ш max} + h_p + \Delta \mathcal{E}$	$t_{ш max} + h_z + h_p + \Delta \mathcal{E}$

Таблица 1.6

Основные значения диаметра металлизированных монтажных отверстий и расстояний между ними при различных конструкциях, методах изготовления и классах точности печатных плат.

Конструкция печатной платы		Класс платы	Расстояние между монтажными отверстиями	Диаметр металлизированных монтажных отверстий	Способ получения рисунка печатного монтажа
Схема конструкции	Обозначение				
	I	1, 2, 3	1,25–2,5	0,6–0,8	Сеткографический (СГ)
		3,75–5,0	1,0–1,3	Фотохимический (ФХ)	
	II	1, 2, 3, 4	1,25–2,5	0,6–0,8	Сеткографический (СГ)
		3,75–5,0	1,0–1,3	Фотохимический (ФХ)	
	III	1, 2, 3, 4, 5	1,25–2,5	0,6–0,8	Сеткографический (СГ)
		3,75–5,0	1,0–1,3	Фотохимический (ФХ)	
	IV	1, 2, 3, 4, 5	1,25–2,5	0,6–0,8	Сеткографический (СГ)
		3,75–5,0	1,0–1,3	Фотохимический (ФХ)	

В зависимости от метода изготовления ПП и, следовательно, толщины слоя меди на поверхности диэлектрика, перед травлением его с пробельных мест величина подтравливания будет разной (см. рис. 1.27). Коэффициент 1,5 в формулах расчета минимальных размеров диаметров контактных площадок и ширины проводников (табл. 1.5) отражает особенность струйного направленного травления, обеспечивающего боковое подтравливание несколько меньше, чем величина травления по глубине. В формулах учитывается и величина разрачивания при осаждении гальванической меди металлорезиста. Если металлорезистом является оплавляемый сплав олово–свинец, то разрачивание h_p устраняется последующим оплавлением ($h_p = 0$).

Максимальные размеры контактных площадок и проводников зависят от точности изготовления фотошаблона и погрешности экспонирования (см. табл. 1.6). В формулах расчета D_{\max} и t_{\max} учитывается разрачивание гальванической меди и металлорезиста при наличии на поверхности платы маски из краски (сеточно-графический способ). Если маска выполнена на основе сухого пленочного фоторезиста, то разрачивание отсутствует (или минимально), что и учитывается при расчетах (см. рис. 1.27).

Зная D_{\max} и t_{\max} , можно выполнить расчет минимальных расстояний между элементами печатного монтажа, например между проводником и контактной площадкой

$$S_{\min} = l - \left[\left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{ш}} \right) + \left(\frac{t_{\max}}{2} + \delta_{\text{шт}} \right) \right],$$

где l – расстояние между центрами рассматриваемых элементов; между двумя контактными площадками

$$S_{\min} = l - (D_{\max} + 2\delta_{\text{ш}});$$

между двумя проводниками

$$S_{\min} = l - (t_{\max} + 2\delta_{\text{шт}}).$$

Расчет узких мест ведут с точки зрения возможности прокладки n -го количества проводников между элементами печатного монтажа и конструктивными элементами печатной платы (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Формулы для расчета узких мест

Минимальное расстояние для прокладки проводников	Расчетная формула
Между двумя контактными площадками	$l_{\min} = \left(\frac{D_{1\max} + D_{2\max}}{2} + 2\delta_{\text{кп}} \right) + (t_{\min} + 2\delta_{\text{шт}})n + S_{\min}(n-1)$
Между двумя неметаллизированными отверстиями	$l_{\min} = \left(\frac{d_{1\max} + d_{2\max}}{2} + 2\delta_{\text{отв}} \right) + (t_{\max} + 2\delta_{\text{шт}})n + S_{\min}(n-1) + 2a$
Между контактной площадкой и неметаллизированным отверстием	$l_{\min} = \left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{кп}} \right) + \left(\frac{d_{\max}}{2} + \delta_{\text{отв}} \right) + (t_{\max} + 2\delta_{\text{шт}})n + S_{\min}n + a$
Между контактной площадкой и краем платы	$l_{\min} = \left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{кп}} \right) + (t_{\max} + 2\delta_{\text{шт}})n + S_{\min}n + a$
Между неметаллизированным отверстием и краем платы	$l_{\min} = \left(\frac{d_{\max}}{2} + \delta_{\text{отв}} \right) + (t_{\max} + 2\delta_{\text{шт}})n + S_{\min}(n-1) + 2a$

Примечания:

1. Формулы приведены для ДПП и наружных слоев МПП.
2. Для расчета ОПП и внутренних слоев МПП подставляются значения $D_{1\max}$, $D_{2\max}$, t_{\max} .
3. S_{\min} определяется расчетным путем или выбирается из табл. 1.1.
4. Расстояние a от края платы, выреза, неметаллизированного отверстия до элементов печатного монтажа берут равным номинальной толщине платы, а для плат толщиной менее чем 1 мм и ГПК a должно быть не менее чем 1 мм.

При выборе класса точности печатной платы стоит обращать внимание на поставленную задачу, область применения изделия, плотность монтажа, тип монтируемых компонентов и возможности завода-изготовителя. Чем выше класс точности печатной платы, тем более высоким требованиям должно соответствовать производство.

Печатные платы 1 и 2 классов точности имеют низкую плотность монтажа, наименьшую себестоимость, их производство возможно даже без специализированного оборудования. Как правило этот класс точности применяется при макетировании, в единичном или мелкосерийном производстве.

Печатные платы 3 класса точности имеют более сложную конструкцию. Для их производства необходимо специализированное оборудование. Для производства ППП 4 класса точности необходимы прецизионные установки.

Для изготовления ППП 5, 6 и 7 классов точности необходимо дорогое высокоточное оборудование, специальные материалы, безусадочные фото-

пленки. 5 класс точности используется в составе бытовых приборов, вычислительной технике. 6 класс точности применяют в производстве сложной протатичной техники. Платы 7 класса точности изготавливаются для аэрокосмического, медицинского оборудования, а также для оборонной промышленности.

Тесты к лекции 1.3

1. Что такое класс точности печатной платы?
 - а) Совокупность показателей точности выполнения элементов конструкции ПП (проводников, КП, отверстий и тд) и допустимых предельных отклонений, которые определяет ГОСТ Р 53429-2009;
 - б) Характеристика, указывающая на наименьший линейный размер элемента конструкции печатной платы (проводника, КП, отверстия и тд) и его допустимых предельных отклонений, которые определяет ГОСТ Р 53429-2009;
 - в) Характеристика, указывающая на наименьший линейный размер компонента, устанавливаемого на печатную плату, и его допустимых предельных отклонений, которые определяет ГОСТ Р 53429-2009;
2. Узкие места проводящего рисунка ПП встречаются между:
 - а) Верны оба ответа ниже;
 - б) Соседними крупными КП, планарными КП;
 - в) КП и краем ПП, двумя неметаллизированными отверстиями.
3. Центры монтажных отверстий должны располагаться в узлах координатной сетки, шаг которой по ГОСТ 10317-72 равен:
 - а) 0,5 мм;
 - б) 0,3 мм;
 - в) 0,7 мм.
4. У какого метода изготовления величина подтравливания токопроводящих участков меньше?
 - а) У электрохимического метода;
 - б) У комбинированного позитивного метода;
 - в) Величина подтравливания токопроводящих участков у обоих методов одинаковая.
5. Какая величина обозначена d_{\max} в формуле для определения минимального эффективного диаметра контактной площадки?
 - а) Максимальный диаметр монтажного отверстия;
 - б) Максимальный эффективный диаметр контактной площадки;
 - в) Максимальный диаметр переходного отверстия.