

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

I. Общие сведения и рекомендации к конструированию и изготовлению печатных плат.

1. Монтаж компонентов поверхностного монтажа (SMD-компонентов) возможен как на отдельной плате, так и одновременно на нескольких платах, объединенных с этой целью в панель, причем, форма плат, объединенных в панель, возможна произвольной. Разделение панели на платы выполняется после монтажа путем перерезки (или переламывания) перемычек, оставленных при фрезеровании платы по контуру, или по линиям надрезки (скрайбирования).

2. Рекомендуемая внешняя форма печатных плат (панелей) – прямоугольная с отношением ширины к длине от 1:1 до 1:3. При необходимости использования формы печатных плат (панелей), отличающейся от прямоугольной, необходимо согласование с производителем монтажа из-за особенностей позиционирования печатных плат (панелей) на технологическом оборудовании.

3. Допустимые размеры печатных плат (панелей) от 70х70 мм до 300х400 мм. При меньших размерах печатных плат обязательно панелирование. Разброс ширины плат (панелей) в партии не должен превышать $\pm 0,2$ мм. При формировании технического задания на изготовление печатных плат нужно иметь в виду, что стандартные методы обработки контура – фрезеровка и надрезка – выполняются с точностью $\pm 0,1$ мм.

Большинство производителей печатных плат традиционно используют фрезу диаметром 2,0 мм. Если этот размер не устраивает для формирования внутренних окон и пазов, производители предлагают следующий **ряд стандартных диаметров фрез:**

0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,175 мм.

По габаритам печатные платы (панели) из-за применения двух типов принтеров с разными размерами рабочих полей и способами натяжения трафаретов условно разделяются на 2 группы:

а) печатные платы (панели) малого формата с размерами до 180х240 мм;

б) печатные платы (панели) большого формата с размерами от 180х240 мм до 300х400 мм.

Панелирование печатных плат малого формата в панели большого формата не целесообразно из-за разных стоимостей изготовления трафарета и подготовки к производству монтажа. Для проектирования оптимального формата панели желательно проконсультироваться с производителем монтажа печатных плат.

4. Толщина печатных плат для двустороннего монтажа SMD-компонентов должна быть в пределах от 0,6 до 3,2 мм. Односторонний монтаж SMD-компонентов возможен также и на печатных платах с меньшими толщинами вплоть до 0,1 мм, однако, при этом необходимо согласование разработки печатной платы с производителем монтажа из-за особенностей крепления и фиксации печатной платы.

Многие производители печатных плат могут изготовить печатные платы любой толщины, но чтобы не нести лишние затраты за нестандартную толщину, необходимо при проектировании печатных плат придерживаться **ряда стандартных толщин:**

а) двухсторонние платы:

0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,4; 3,2 мм,

б) слои многослойных плат:

0,06; 0,1; 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,45; 0,5; 0,6; 0,7 мм.

5. При разработке и изготовлении печатных плат необходимо иметь в виду, что используемые **стандартные финишные покрытия** контактных площадок и переходных отверстий имеют следующий состав и толщины:

Хим. никель / золото	3-10 мкм Никель 0,02-0,1 мкм Золото
Палладий	0,1-0,3 мкм
Хим. Никель / Палладий / Золото	3-5 мкм Никель 0,2-0,3 мкм Палладий 0,02-0,03 мкм Золото
Горячее лужение	10-15 мкм
Entek (органическое покрытие)	0,3 мкм
Гальваническое золото	1-3,5 мкм
Гальваническое серебро	4 мкм
Гальваническая медь	25-40 мкм

Иногда в зарубежной технической литературе приводится не толщина меди фольгированного диэлектрика, а ее вес в унциях (**oz**). Соответствие можно найти в следующей таблице:

Вес меди, oz	Толщина, мкм
1/8	5
1/4	9
1/3	12
1/2	17,5
1	35
2	70
3	105

6. Конструирование печатных плат целесообразно выполнять в системе автоматизированного проектирования (САПР) с использованием библиотеки SMD-компонентов, позволяющей осуществлять привязку положения **центра и ориентации компонента** на печатной плате. Типичные исходные положения ориентации SMD-компонентов в библиотеке САПР приведены ниже. В последующем, при оформлении сопроводительной документации на SMT-монтаж это позволит упростить формирование «**таблицы координат центров и ориентации SMD-компонентов**», без которой программирование роботов-установщиков невозможно.

За начало координат на печатной плате удобнее всего использовать **левый нижний угол** платы (или панели, исключая технологическое поле). При составлении «**таблицы координат центров и ориентации SMD-компонентов**» на нижнюю сторону платы (слой Bottom) необходимо изображение слоя Bottom отзеркалить относительно вертикальной оси и за начало координат на печатной плате также использовать **левый нижний угол** платы. Это позволит для нижней стороны платы сформировать таблицу, аналогичную верхней стороне платы (слою Top) без дополнительных математических обработок при вводе данных в роботы-установщики SMD-компонентов.

Сопроводительная документация на SMT-монтаж каждой стороны (**Top и Bottom**) печатной платы должна содержать:

- **таблицу в формате EXSEL** координат реперных знаков, координат центров и ориентации SMD-компонентов с указаниями: наименования, позиционного обозначения, значения параметра с допустимым разбросом, типа корпуса, шаг мультипликации плат в панели по осям **X и Y**;

- **монтажную схему** с позиционными обозначениями и номинальными значениями SMD-компонентов;

- **перечень элементов** с указаниями: наименования, позиционного обозначения, значения параметра с допустимым разбросом, типа корпуса, количества компонентов на плате.

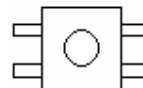
Типичные положения SMD-компонентов в библиотеке САПР, принимаемые за исходные положения при проектировании печатных плат.

1. Неполярные компоненты:

резисторы, конденсаторы,
индуктивности,



кнопки

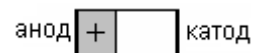


2. Полярные компоненты:

диоды, светодиоды,
(анод слева)



электролитические конденсаторы:
танталовые
(анод слева)



алюминиевые
(анод справа)



оптопары
(метка слева)

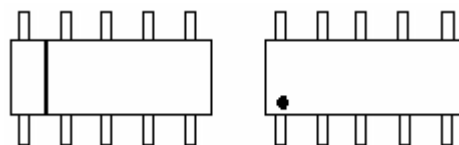


транзисторы, диоды
(SOT-23, SOT-89, SMP-5)
(меньшее количество
выводов – сверху)

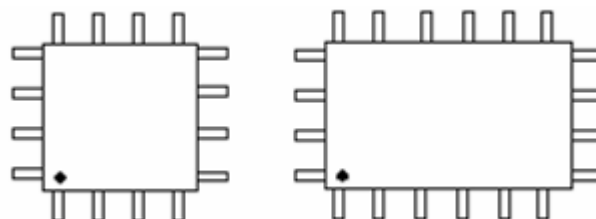


3. Микросхемы:

с двухсторонними
расположениями выводов
(SO, SOIC, SSOIC и пр.)
(метка - слева)



с четырехсторонними
расположениями выводов
(PQFP, QFP, PLCC и пр.)
и BGA
(метка - слева)



II. Фиксация и панелирование плат, рабочее поле монтажа.

При конструировании печатных плат необходимо учитывать способ точной фиксации платы в оборудовании по базовым отверстиям. Базовые отверстия обычно делаются на расстоянии $5^{+0,1}$ мм, по осям X и Y от нижних углов печатной платы (панели). Стандартный размер базового отверстия определяется оборудованием и должен быть диаметром $4,0^{+0,05}$ мм. Допуски на размещения базовых отверстий по отношению к краям плат приведены на рис. 3.2. При **одностороннем** поверхностном монтаже печатных плат (панелей) длиной более 100 мм допускается **правое базовое отверстие** располагать относительно правого края платы (панели) на расстоянии $5 \div 25$ мм. Центры базовых отверстий должны быть совмещены с печатным рисунком платы с точностью не хуже $\pm 0,05$ мм. Для контроля точности совмещения базисных отверстий с печатным рисунком платы (и выбора эталонной платы с минимальным совмещением для настройки технологического оборудования) необходимо иметь знак совмещения базисного отверстия (рис. 3.2., вид В), изготавливаемого одновременно с печатным рисунком. При двухстороннем SMT-монтаже знаки совмещения необходимо иметь на каждой стороне платы. Ширина металлизированного кольца может быть произвольной в пределах $0,25 \div 0,8$ мм (рекомендуемая ширина кольца – 0,5 мм). В случае, если конструктивно недопустимы базовые отверстия в плате, необходимо создать технологическое поле с базовыми отверстиями (рис. 3.2., б). После монтажа платы технологическое поле отделяется по линии разделения. Для эффективного использования автоматизированной технологии поверхностного монтажа (SMT-монтажа) малые печатные платы должны быть объединены в панель определенного габарита. Это упрощает фиксацию плат, управление по монтажу и увеличивает производительность технологического оборудования. Способ крепления печатных плат в панели необходимо закладывать еще на этапе проектирования и должен быть согласован с возможностями производителя печатных плат.

Из существующих способов формирования линий разделения печатных плат в панелях наибольшее применение нашли **3 способа**:

1) локальные фрезеровки проходных пазов с оставлением перемычек, механически ослабленных высверленными отверстиями;

2) формирование V-образных канавок с обеих сторон печатных плат, так называемая надрезка (скрайбирование);

3) комбинация способов 1) и 2).

Проектирование и изготовление линий разделения печатных плат в панелях по способу 1 (фрезеровки проходных пазов с перемычками, рис. 3.1.) выполняется для печатных плат со сложной конфигурацией или в случаях, когда у изготовителя отсутствует технология надрезки.

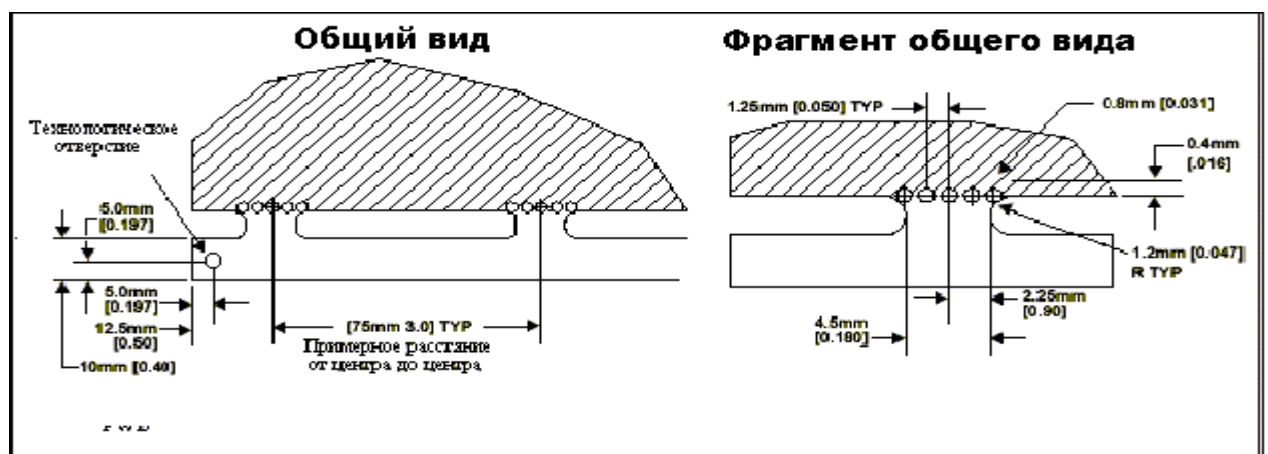
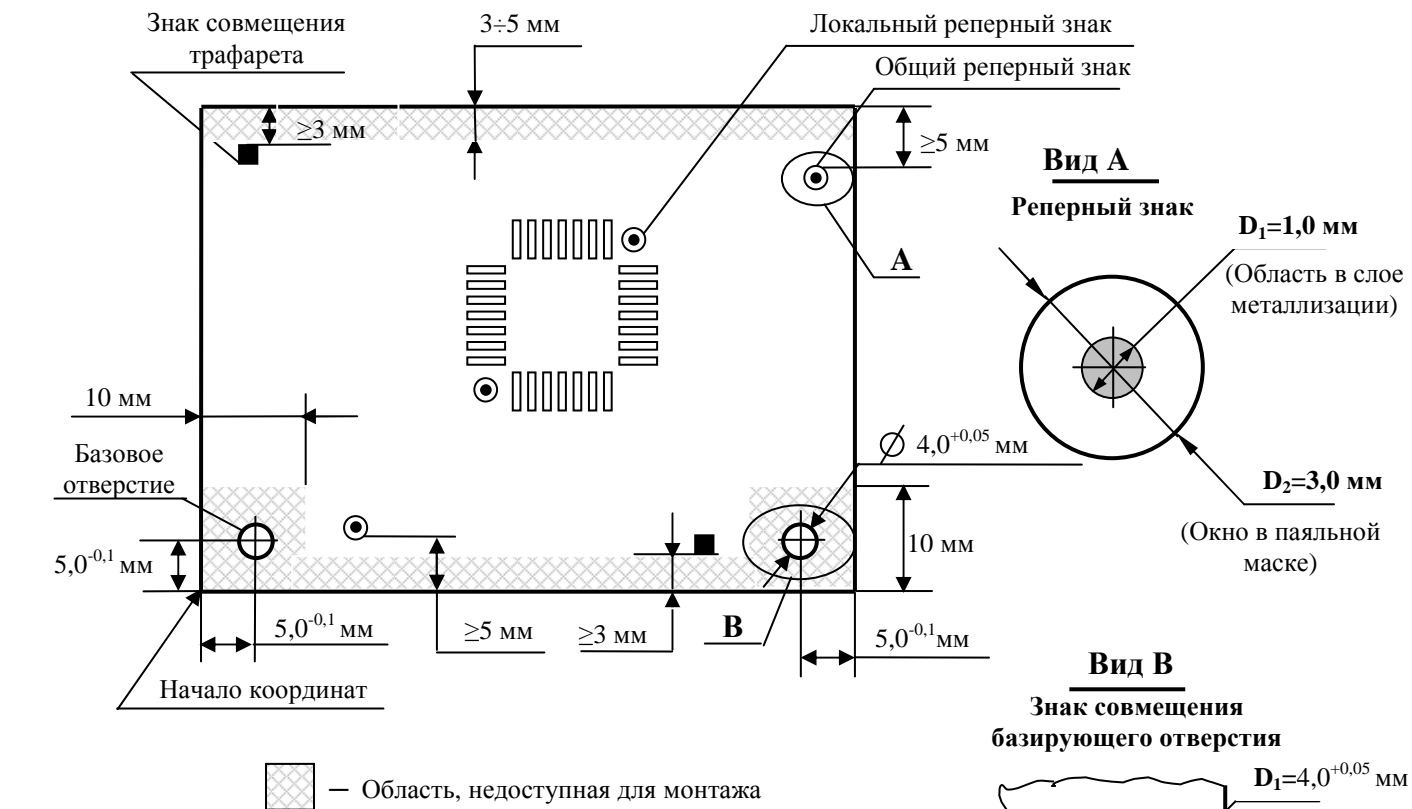


Рис. 3.1. Параметры линии разделения способом фрезеровки проходных пазов.

Этот способ дает достаточно точные габариты и гладкие торцы печатных плат, за исключением перемычек, где в некоторых случаях требуется подшлифовка торцов плат.



б)

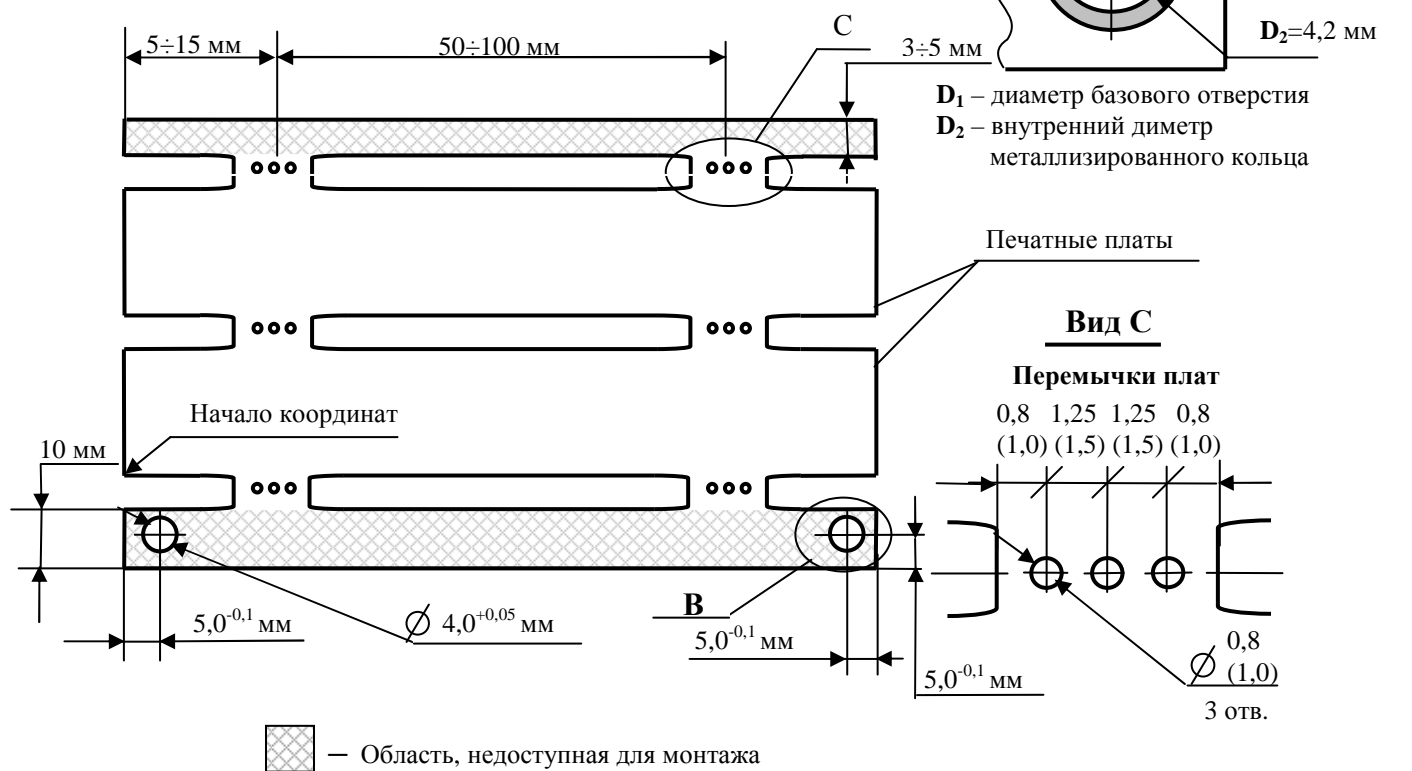
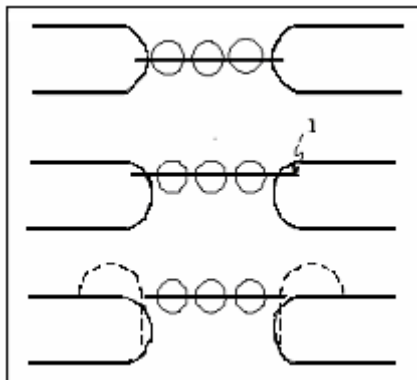


Рис. 3.2. Расположение конструктивных для монтажа элементов и областей, недоступных для автоматизированного монтажа:

а) плат,
б) панелей.

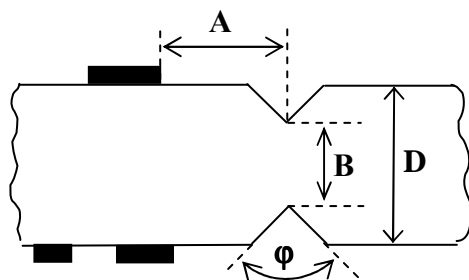
На рис. 3.3. представлены возможные варианты изготовления перемычек, выбор которых определяется требованиями к печатным платам.



1 – линия разделения печатных плат

Рис. 3.3. Варианты формирования перемычек при панелировании печатных плат.

Проектирование и изготовление линий разделения печатных плат в панелях по способу 2 (надрезки, рис. 3.4.) целесообразно для печатных плат прямоугольной формы.

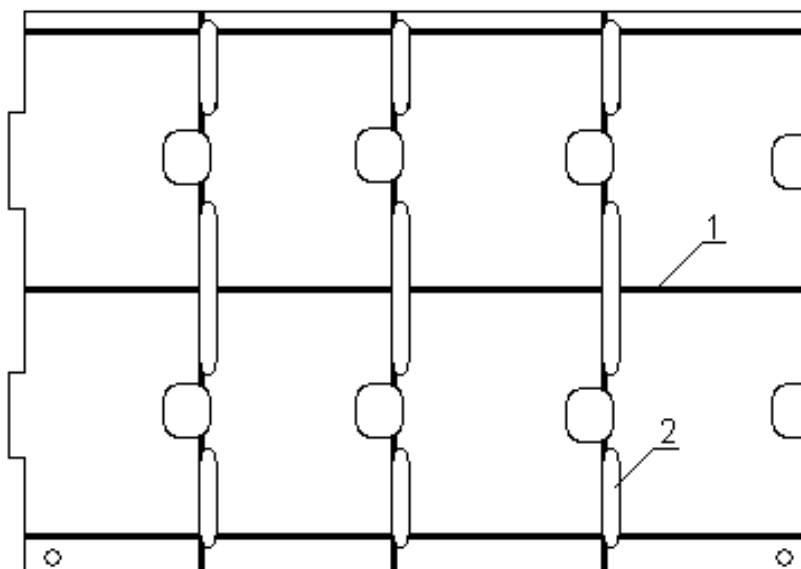


Стандартный угол реза ϕ : 30°
 Расстояние А от края платы до
 металлизации, не менее: 0,75 мм.
 Отношение толщин **B/D** определяет
 жесткость соединения: 0,2 – слабая
 0,25 – средняя
 0,3 – жесткая

Рис. 3.4. Параметры линии разделения способом надрезки (скрайбирования).

Этот способ дешевле, чем способ 1 и, если шероховатость торцов плат после разделения панели не имеет значения, то выгоднее применять этот способ.

Проектирование и изготовление линий разделения печатных плат в панелях по комбинированному способу 3 выполняют в тех случаях, когда часть сторон контура плат прямолинейна и параллельна внешнему контуру панели, а другая часть сторон контура сложной формы (рис. 3.5.).



1 – линия надрезки

2 – область фрезерования

Рис.3.5. Пример формирования контура плат комбинированным способом.

Рабочее поле SMT-монтажа – это поле печатной платы за вычетом областей, в которых монтаж компонентов недоступен в силу конструктивных особенностей технологического оборудования (см. раздел 2). Обычно **область, недоступная для установки SMD-компонентов, составляет не менее 3+10 мм со стороны базовых отверстий и не менее 3 мм с противоположной стороны**, рис. 3.2. К этой области при параллельном положении компонента относительно края платы (панели) **необходимо добавить величину допустимого смещения SMD-компонента** относительно контактных площадок (см. рис.3.6).

В случае, если эти области в силу ряда причин недопустимы на печатной плате, то тогда необходимо создать технологические поля, рис. 3.2.

III. Реперные знаки.

Применение реперных знаков позволяет компенсировать смещение рисунка печатной платы относительно базовых отверстий и повысить точность выполнения технологических операций. Существует два вида реперных знаков: общие и локальные. Первые используются для всей платы или, в случае, если несколько плат объединены в панель методом мультиплицирования, для привязки всей панели. Вторые используются для привязки сложных компонентов или микросхем с малым шагом выводов (менее 0,8 мм). Для корректного вычисления координат (**X, Y, угол разворота**) требуется минимум два общих реперных знака, обычно расположенные в диагонально противоположных углах платы на максимально возможном удалении друг от друга. Для установки сложных компонентов или микросхем с малым шагом выводов требуется два локальных реперных знака, расположенные обычно по периметру области, занимаемой данным компонентом (рис. 3.2.)

При монтаже двух и более микросхем в одинаковых корпусах целесообразно локальные реперные знаки располагать одинаково относительно корпусов – это упрощает процесс настройки установщика компонентов и улучшает точность установки микросхем на контактные площадки.

Реперные знаки, изготавливаемые в слое металлизации печатной платы, могут применяться разной формы, однако предпочтительной является форма в виде круга. Рекомендуемый диаметр реперного знака 1,0 мм. Размеры всех реперных знаков на однотипных платах не должны различаться более чем на 25 мкм. Вокруг реперного знака должна быть зона, свободная от паяльной маски, проводников печатной платы, маркировки и устанавливаемых компонентов. Минимальная свободная зона должна быть не менее двойного размера реперного знака, однако предпочтительно иметь свободную зону тройного размера реперного знака (рис. 3.2.).

Не следует располагать реперный знак внутри контура устанавливаемого компонента, так как последовательность установки компонентов заранее не известна, а закрытый компонентом реперный знак не позволит довершить автоматизированный монтаж.

Поверхность реперного знака может иметь покрытие: олово-свинец, золото, олово и прочие и должна иметь максимальный уровень контрастности по отношению к поверхности печатной платы. Толщина реперного знака с олово-свинцовым покрытием не должна превышать 25 мкм. Плоскостность поверхности реперного знака должна быть в пределах 15 мкм.

Покрытие реперного знака не должно быть блестящим (зеркальным), так как принцип машинного зрения основан на диффузном рассеянии света поверхностью реперного знака, что соответственно требует наличия микрорельефа поверхности (~ 1 мкм), то есть матового покрытия.

Расстояние от края реперного знака до края платы складывается из ширины недоступной для установки компонентов и необходимой ширины свободной зоны реперного знака. Обычно это расстояние составляет не менее 5 мм.

IV. Выбор оптимального расстояния между элементами на плате.

Разумеется, что выбор оптимального расстояния между элементами является результатом компромисса между возможностью более плотного размещения компонентов на плате и технологическими возможностями изготовления плат. Разработчик не должен упускать из виду технологичность, контролируемость и возможность реставрации сборок, выполненных по технологии SMT-монтажа. Ограничение на минимальное расстояние между компонентами необходимо для обеспечения производственных требований изготовления: установку компонентов с заданной точностью (рис. 3.6.), выбор способа пайки (конвекционным оплавлением, волной припоя), возможность визуального контроля, обеспечивающего угол обзора выводов компонентов (рис. 3.7.).

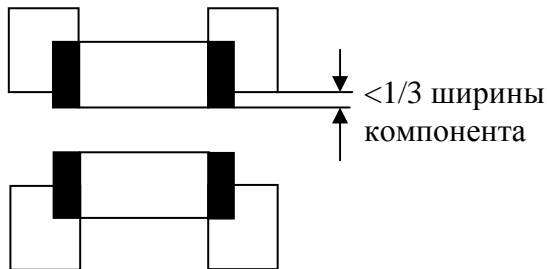


Рис. 3.6. Допустимые смещения чип-компонентов относительно контактных площадок.

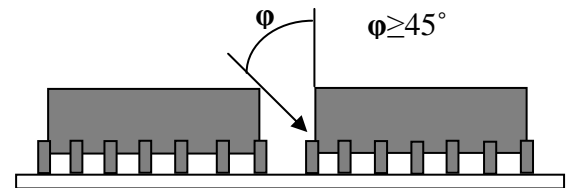


Рис. 3.7. Угол обзора выводов.

В соответствии со стандартом IPC-SM-782A минимальные расстояния между контактными площадками соседних компонентов и их взаимного расположения должны составлять $0,63 \div 1,5$ мм в зависимости от типов компонентов рис 3.8.

Для миниатюрных чип-компонентов 0603, 0402 и 0201 расстояние между корпусами можно уменьшить с согласия производителя поверхностного монтажа до $\sim 0,5$ мм, однако при этом следует помнить, что минимальное расстояние между компонентами должно быть не меньше высоты большего компонента, а взаимная ориентация компонентов должна обеспечить ремонтоспособность печатной платы.

При проектировании расположения компонентов на плате целесообразно для исключения ошибок использовать в САПР изображение габаритов компонентов слоем «шелкография».

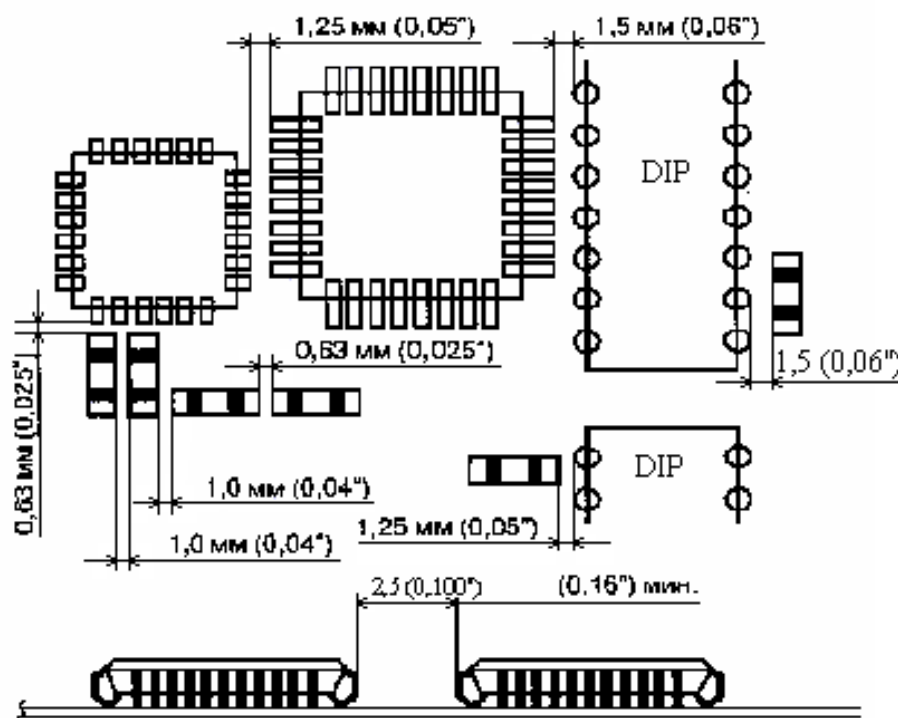


Рисунок 3.8. Пример минимальных рекомендуемых расстояний между компонентами на печатной плате.

Кроме того, не следует размещать компоненты слишком близко к краю печатной платы – расстояние между компонентом и краем платы должно быть не менее 1,25 мм.

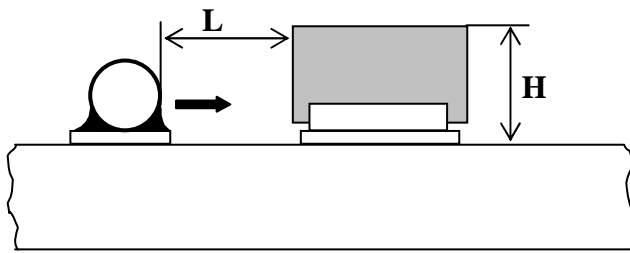


Рис. 3.9. Влияние близости положения массивного компонента на смещение цилиндрического компонента при пайке.

При выборе оптимального расстояния между элементами необходимо учитывать также часто упускаемую из виду соразмерность их величин. Особенно это касается цилиндрических компонентов (корпуса MELF), располагаемых рядом с массивными компонентами, типа танталовых конденсаторов, мощных диодов и транзисторов, рис. 3.9.

При пайке этих компонентов в печи оплавления около массивного компонента из-за его тепловой инерционности создается неоднородное тепловое поле (градиент температуры направлен в сторону массивного компонента), «притягивающее» флюс с припоем и вызывающее таким образом смещение чип-компонента.

Рекомендуемое из практического опыта минимальное расстояние между этими компонентами должно составлять:

- а) для прямоугольных чип-компонентов - не менее половины высоты массивного компонента ($L \geq 0,5 H_{\max}$);
- б) для цилиндрических компонентов - не менее высоты массивного компонента ($L \geq H_{\max}$).

Если положение цилиндрического компонента, показанное на рис. 3.9., развернуть на прямой угол, то требование на минимальное расстояние может быть ослаблено в ~ 2 раза.

V. Ориентация компонентов при пайке волной припоя.

При использовании технологии пайки "волной" на конвейерных печах SMD-компоненты должны быть сориентированы в одном направлении. Для плат, у которых одна из сторон должна паяться "волной", предпочтительная ориентация компонентов показана на рисунке 3.10.



Рисунок 3.10. Ориентация компонентов при использовании технологии пайки «волной» для SMT монтажа.

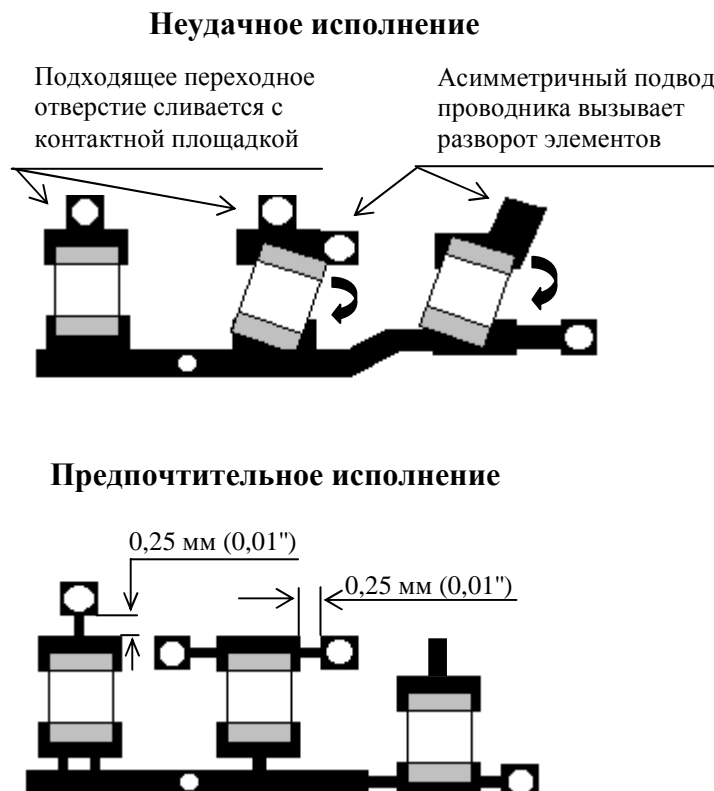
Предпочтительное расположение компонентов по отношению к направлению движения платы:

- все пассивные компоненты должны быть расположены параллельно друг другу и перпендикулярно к направлению движения платы;
- длинная ось SOIC должна быть параллельна направлению движения платы при пайке "волной";
- QFP-компоненты необходимо располагать под углом в 45° к направлению движения платы.

Следует отметить, что технология пайки "волной" для SMD-компонентов с шагом выводов менее 0,8 мм обычно не применяется из-за трудностей исключения перемычек между выводами.

VI. Особенности подвода проводника к контактным площадкам, взаимного расположения переходных отверстий и контактных площадок.

Соединения широким проводником к области контактной площадки, в особенности, если это короткие соединения с переходными металлизированными отверстиями, действуют как теплоотводы от зоны контактная площадка-вывод в процессе оплавления припоя, что приводит к охлаждению паяного соединения – в результате пайка получится «холодной». **Не допускается наличие переходных и иных отверстий в пределах контактных площадок**, так как при их наличии в процессе трафаретной печати происходит продавливание паяльной пасты на обратную сторону печатной платы с последующим загрязнением флюсом и шариками припоя, а при пайке компонентов в печи оплавления – к вытеканию припоя с контактной площадки на противоположную сторону печатной платы и, соответственно, к ухудшению паяного соединения. Поэтому часто используются узкие проводники, соединяющие непосредственно контактную площадку с переходным отверстием, рис. 3.11.



Чип компоненты и подходящие к ним переходные отверстия

Рисунок 3.11. Примеры неудачных и рекомендованных расположений переходных отверстий, подвода проводников к контактным площадкам.

Ширина подводящего узкого проводника может варьироваться в пределах от 0,25 до 0,125мм (зависит от технологических возможностей производителя печатных плат).

Минимальная длина проводника должна быть 0,25 мм при неравномерности толщины покрытия ободка (площадки) переходного отверстия не более 25 мкм; в противном случае длина проводника должна быть увеличена пропорционально увеличению неравномерности толщины покрытия ободка (площадки), что особенно важно для варианта покрытия контактных площадок припоем SnPb способом горячего лужения, так как повышенная неравномерность толщины покрытия увеличивает щель между трафаретом и поверхностью платы, что вызывает размывание печатного рисунка по паяльной пасте (аналогично эффекту, наблюдаемому при большой толщине паяльной маски, рис 3.15). Обычно при покрытии контактных площадок припоем SnPb методом горячего лужения длина проводника составляет 0,25 - 2,0 мм.

Проводить дорожки между соседними площадками рекомендуется, как показано на рис. 3.12. (при условии отсутствия жестких требований к длине проводника).

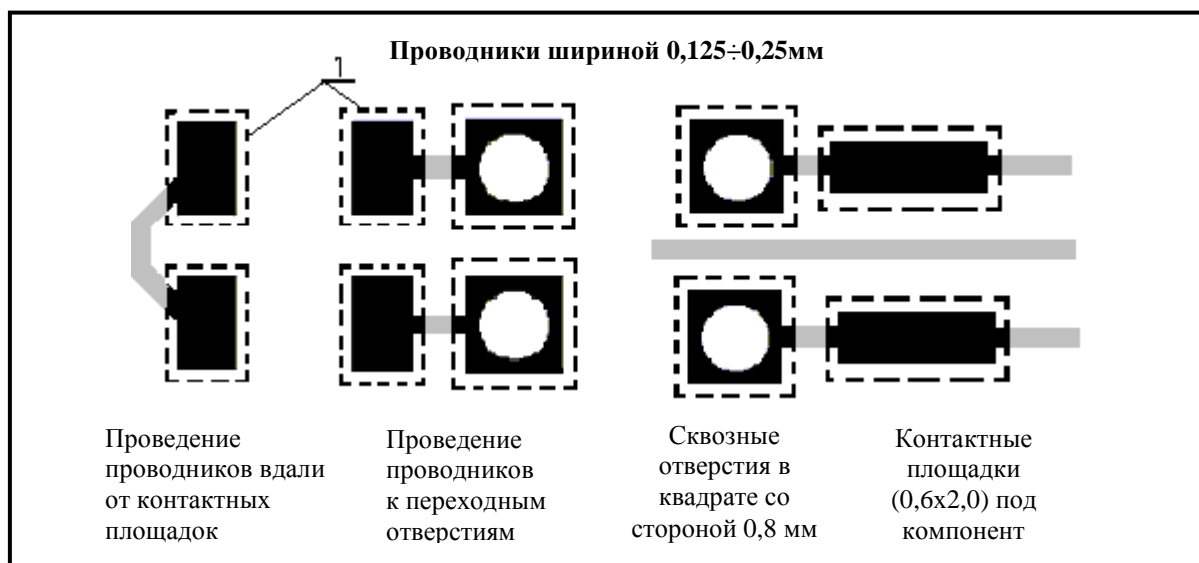


Рис. 3.12. Проведение проводников к контактным площадкам и переходным отверстиям.
1 – контур вскрытия контактной площадки в паяльной маске.

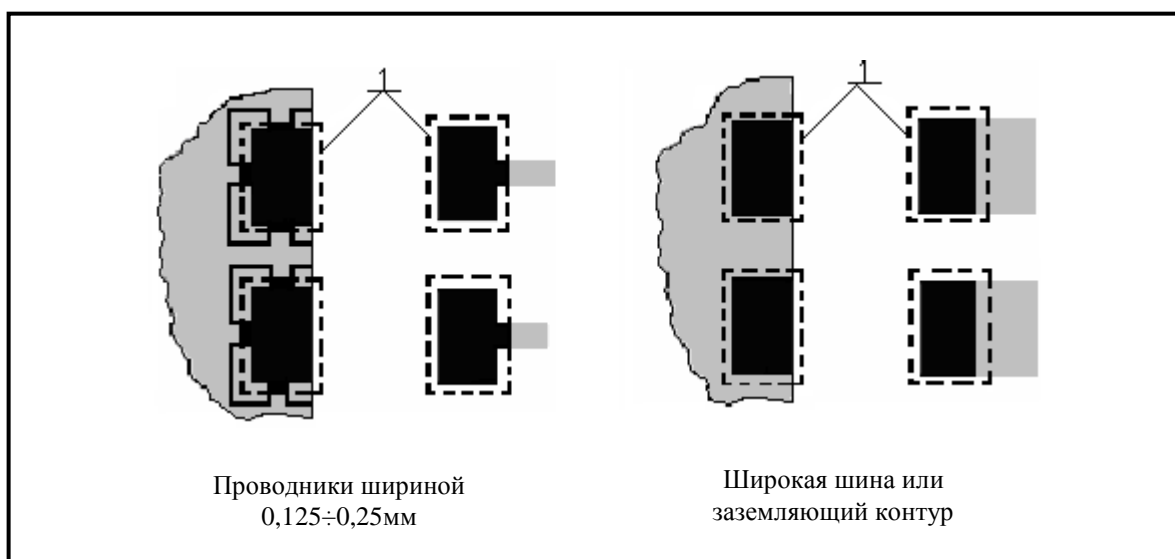


Рис. 3.13. Допустимые варианты проведения проводников к контактным площадкам при использовании паяльной маски.
1 – контур вскрытия контактной площадки в паяльной маске.

Главное условие, которое необходимо выполнять при проектировании контактных площадок и подвода к ним проводников, - это соблюдение осевой симметрии подвода широких проводников и симметрии размеров контактных площадок, так как ассиметричные размеры вскрытых по паяльной маске контактных площадок или ассиметричные подводы широких проводников к контактным площадкам при пайке компонентов в конвекционной печи вызывают соответственно смещение чип-компонентов (в особенности компонентов типоразмерами 0805 и менее), рис. 3.14 или их разворот, рис. 3.11.

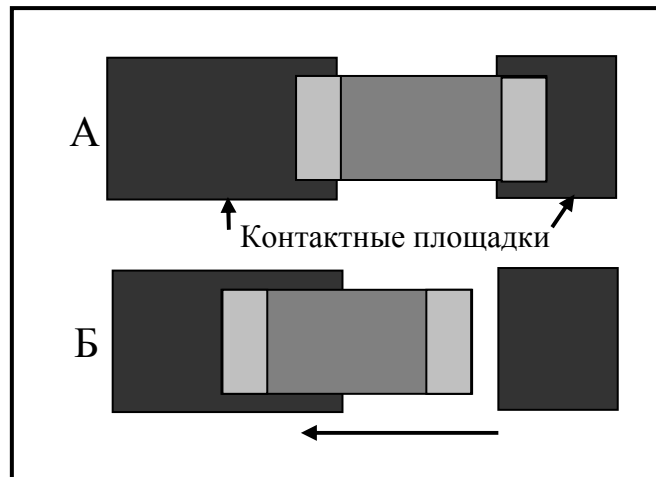


Рис. 3.14. Пример влияния разного размера контактных площадок на смещение компонентов при пайке.

А – чип-компонент до пайки (установлен на паяльную пасту);

Б – «стягивание» чип-компонента большей контактной площадкой.

VII. Паяльная маска.

Применение паяльной маски улучшает качество, облегчает технологию и повышает плотность монтажа печатных плат. Паяльная маска позволяет обеспечить защиту печатных плат и элементов электрической схемы при пайке от воздействия высоких температур и расплавленного припоя, предотвращает образование перемычек и шариков припоя, препятствует стягиванию припоя с контактных площадок на проводники; а в процессе эксплуатации изделий – защищает от воздействий грязи, пыли и ряда факторов внешней среды, обуславливающих коррозию проводников и повышение токов утечки между проводниками на печатной плате.

В производстве печатных плат применяются паяльные маски, наносимые сухим или жидким способами. Толщина паяльной маски зависит от метода нанесения и обычно составляет:

~ 40÷100 мкм при сухом способе нанесения;

~ 15÷60 мкм при жидком способе нанесения.

Последний способ предпочтительнее по многим эксплуатационным и технологическим показателям, в том числе и по такому фактору, как смыкание островков паяльной пасты, образуемых методом трафаретной печати на контактных площадках платы для компонентов с малым шагом выводов (менее 0,8 мм), рис. 3.15.

Ширина перемычек паяльной маски, изготовленной сухим способом, между контактными площадками должна быть не менее удвоенной толщины маски, так как в противном случае из-за недостаточной прочности маски это вызывает "рассыпание" перемычек, создающее повышенный уровень дефектности на печатных платах.

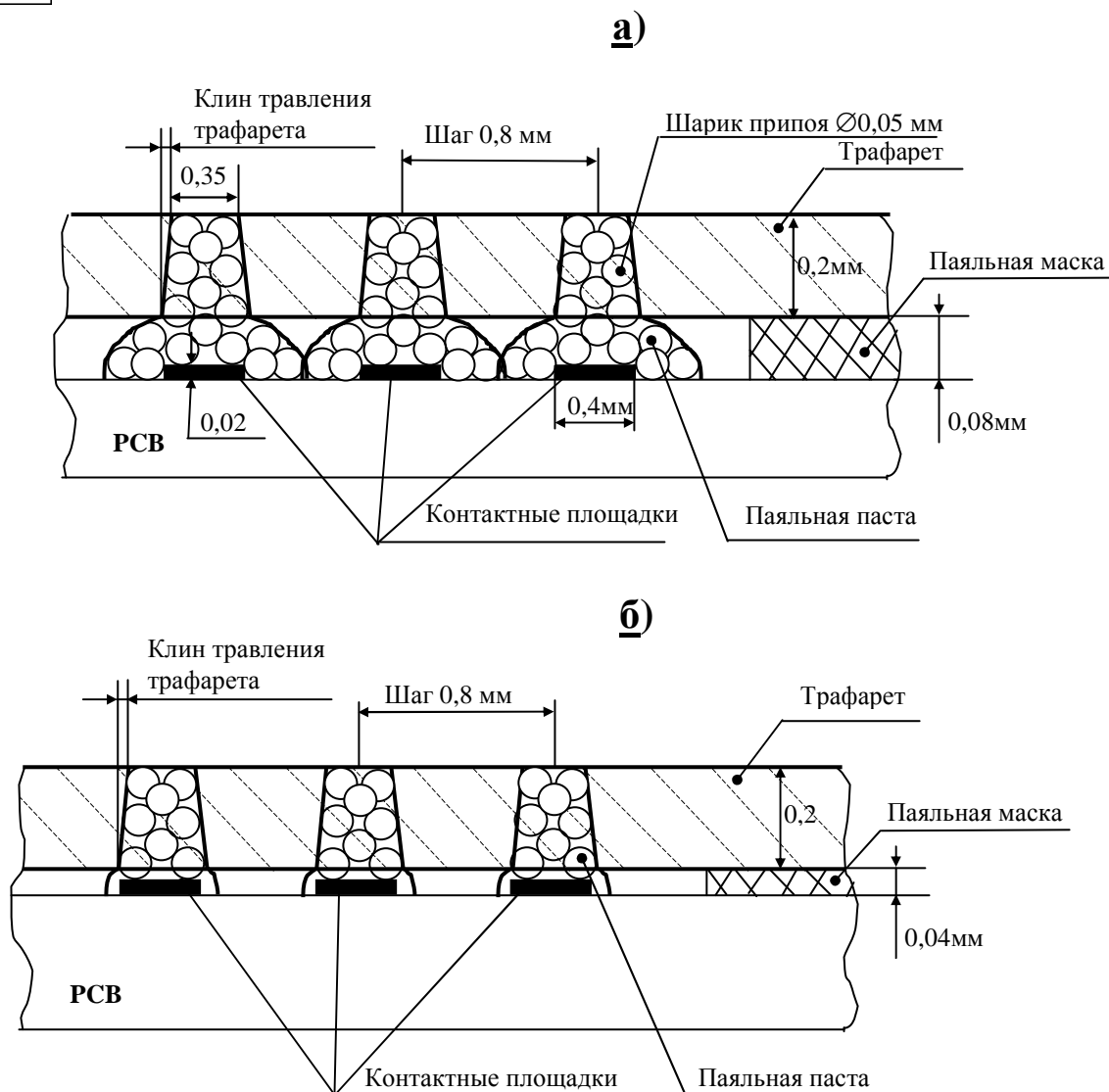


Рисунок 3.15. Влияния толщины паяльной маски на смыкание островков паяльной пасты.

Параметры: 1) Размер фракции паяльной пасты 38÷53 мкм.

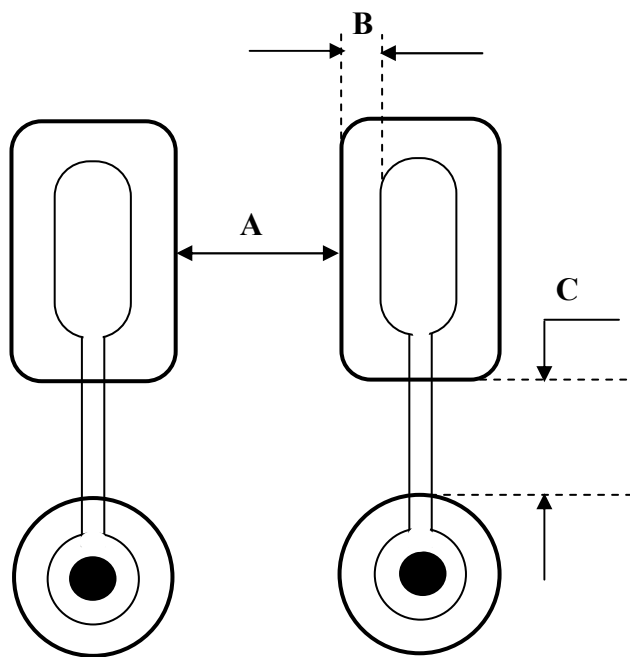
2) Шаг между контактными площадками 0,8 мм.

Толщина паяльных масок: а) - 80 мкм; б) - 40 мкм.

Современные паяльные маски, наносимые на печатные платы жидким способом, являются идеальным решением для электроники с применением технологии поверхностного монтажа (отсутствие капиллярных эффектов с присущими для них проблемами коррозии вдоль края проводников, планаризация поверхности, достаточно простая управляемость толщиной маски, высокое качество маски) и великолепно зарекомендовали себя при использовании в различных областях электроники, в том числе в военной и промышленной технике с самыми жесткими условиями эксплуатации.

При проектировании окон в паяльной маске для контактных площадок печатных плат общего применения необходимо иметь в виду стандартные требования на минимальные размеры перемычек маски и зазоров между краями маски и площадки, рис. 3.16.

Эти параметры необходимо согласовать с производителями печатных плат еще на этапе проектирования (так как не все производители печатных плат могут обеспечить приведенные проектные нормы).



- A** – перемычки паяльной маски между контактными площадками – **не менее 0,1 мм.**
- B** – зазор между краем маски и краем площадки – **не менее 0,075 мм.**
- C** – длина перемычка между контактной площадкой и ободком переходного отверстия:
- а) – для тентированных (закрытых паяльной маской) переходных отверстий – **не менее ширины проводника;**
 - б) – для открытых по паяльной маске переходных отверстий определяется неравномерностью толщины покрытия контактных площадок (см. текст), но – **не менее 0,1мм.**
 - в) – для отверстий штыревого монтажа – **не менее 1,0мм**

Рис. 3.16. Минимальные проектные нормы по паяльной маске.

VIII. Трафаретная печать.

Нанесение паяльной пасты на контактные площадки производится, как правило, методом трафаретной печати. Исключения составляют случаи, когда на плате имеется небольшое количество контактных площадок для чип-компонентов без необходимости монтажа сложных компонентов или микросхем. В этом случае нанесение паяльной пасты возможно дозатором.

Дозирование паяльной пасты осуществляется либо при помощи пневматических дозаторов, либо с использованием приспособлений, действующих по принципу Архимедова винта. Во многих случаях дозирующее устройство встраивается непосредственно в оборудование для установки SMD-компонентов. Однако невысокие точность дозирования и производительность такого метода нанесения паяльной пасты не позволяют использовать его в массовом производстве.

При использовании трафаретного метода печати на поверхность печатной платы накладывается специальный трафарет с отверстиями. Отверстия трафарета заполняются паяльной пастой, после чего избыток удаляется с помощью специального скребка (ракели). При подъеме трафарета на поверхности печатной платы остается строго дозированное количество паяльной пасты. Объем пасты, наносимой на каждую контактную площадку, определяется размерами соответствующего отверстия трафарета и его толщиной. Поэтому для прецизионного дозирования паяльной пасты отверстия должны выполняться с высокой точностью.

До недавнего времени трафареты изготавливались из латуни или бронзы по технологии двустороннего химического травления окон. Изготовленные таким образом трафареты обладали рядом существенных недостатков: невозможность изготовления отверстий с шагом менее 0,5 мм, неровность стенок отверстий из-за рассовмещения рисунка маски при двустороннем травлении отверстий, текучесть материала при его эксплуатации.

Решение проблемы изготовления прецизионных трафаретов было найдено за счет лазерной резки жесткого сорта нержавеющей стали, обеспечивающей формирование отверстий прецизионной формы по всей обрабатываемой площади. Кроме того, после лазерной резки отверстия имеют слегка трапециальную форму стенок (угол наклона стенок ~ 5°), обычно немного больше с нижней стороны. Такая форма отверстий обеспечивает лучшее отделение паяльной пасты от стенок отверстий при поднятии трафарета.

Для большинства применений, вплоть до шага выводов микросхем 0,5 мм, используются трафареты толщиной 150 мкм. При минимальном шаге микросхемы равном 0,4 мм или 0,3 мм используются трафареты толщиной 125 или 100 мкм соответственно. При этом, чтобы не уменьшить количество припоя на контактных площадках других компонентов, возможно уменьшение толщины трафарета в локальной области расположения микросхемы с мелким шагом выводов.

Рекомендуемый размер окон в трафарете составляет ~90 % от размера контактной площадки (см. таблицу 3.1 для чип-компонентов и таблицу 3.3 для микросхем).

Таблица 3.1.

Примеры рекомендуемых размеров ширины окна в трафарете толщиной 0,15 мм для чип-компонентов.

SMD-компоненты	L_н, мм	W_н, мм	T_н, мм	X, мм	Y, мм	X*, мм	Y*, мм
Чип 0603	1,6	0,8	0,3	0,9	0,8	0,8	0,7
Чип 0805	2,0	1,25	0,4	1,3	1,0	1,2	0,9
Чип 1206	3,2	1,6	0,5	1,7	1,2	1,5	1,1
Чип 1210	3,2	2,5	0,5	2,6	1,2	2,3	1,1
Чип 1218	3,2	4,5	0,5	4,6	1,2	4,1	1,1
Чип 1806	4,5	1,6	0,6	1,7	1,4	1,5	1,3
Чип 1808	4,5	2,0	0,6	2,1	1,4	1,9	1,3
Чип 1812	4,5	3,2	0,6	3,3	1,4	3,0	1,3
Чип 1825	4,5	6,4	0,6	6,5	1,4	5,8	1,3
Чип 2010	5,0	2,5	0,6	2,6	1,4	2,3	1,3
Чип 2220	5,6	5,0	0,6	5,1	1,5	4,6	1,4
Чип 2225	5,6	6,3	0,6	6,4	1,5	5,8	1,4
Чип 2512	6,3	3,2	0,6	3,3	1,5	3,3	1,4
Чип 2824	7,1	6,1	0,6	6,2	1,5	5,6	1,4
Чип 3225	8,0	6,3	0,6	6,4	1,5	5,8	1,4

Обозначения:

L_н – номинальная длина чип-компонента;

W_н – номинальная ширина чип-компонента;

T_н – номинальная ширина вывода;

X – ширина контактной площадки;

Y – длина контактной площадки;

X* – ширина окна (для контактной площадки в) трафарете;

Y* – длина окна (для контактной площадки в) трафарете.

При больших размерах (более ~ 3 мм) контактных площадок с целью предотвращения вычерпывания ракелем паяльной пасты из окон трафарета, рекомендуется большие окна в трафарете дробить на несколько окон с меньшими размерами: - не более 2×2 мм, рис 3.17.

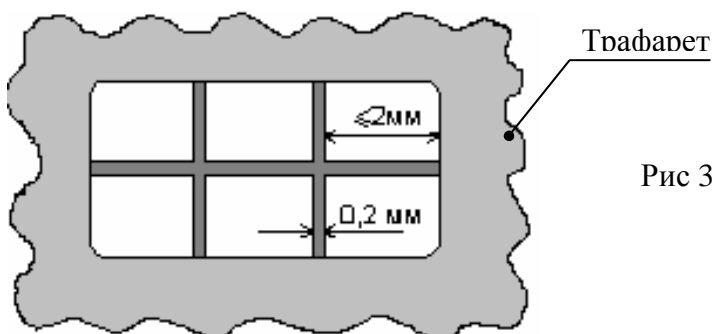


Рис 3.17. Пример дробления большого окна в трафарете для больших контактных площадок.

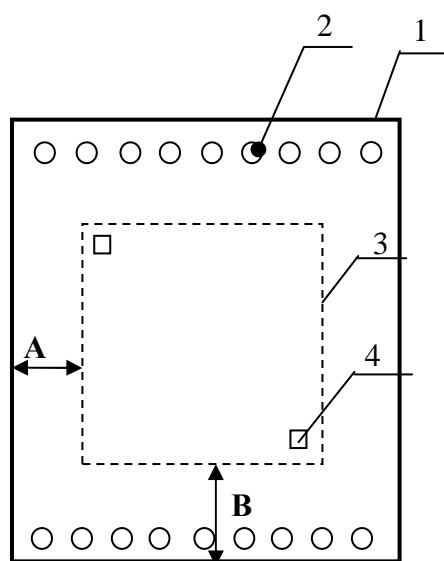
Для получения четких отпечатков паяльной пасты необходимо учитывать толщину трафарета и площадь стенок окна в трафарете. Для уменьшения площади стенок окна трафарета и прилипания пасты к стенкам рекомендуется делать скругленные углы окон в трафарете.

Обычно для скругления углов окон принимают радиус скругления, равный половине минимального размера окна для вывода микросхем.

Оптимальное отношение площади отпечатка паяльной пасты к площади стенки окна в трафарете, как показывает опыт производства, должно быть не менее 75 %. Нетрудно показать, что это требование для контактных площадок микросхем приводит к соотношению: ширина окна в трафарете должна быть не менее 1,5 толщины трафарета, т.е. **не менее 0,22 мм при толщине трафарета равной 150 мкм.**

Для точного совмещения трафарета с печатным рисунком на плате необходимо предусмотреть контактные площадки размером от 1×1 до 2×2 мм (обычно 2×2 мм), расположенные в диагонально противоположных углах панели (платы) на максимально возможном удалении друг от друга (знаки совмещения), но не ближе 3 мм от верхнего и нижнего краев панели (платы), рис. 3.2. На трафарете в соответствующих местах необходимо предусмотреть квадратные отверстия (знаки совмещения трафарета), размеры которых должны быть на 0,2 мм больше знаков совмещения в слое металлизации на панели (плате), рис. 3.2, 3.18.

Положение контура печатной платы, внешние габариты и необходимые для крепежа отверстия в трафарете (рис. 3.18.) определяются конструкцией используемого принтера, габаритами рамки и способом крепления к ней используемого трафарета. Поэтому эти параметры трафарета необходимо согласовывать с производителем поверхностного монтажа, где предполагается использование трафарета.



- 1 – трафарет;
 - 2 – крепежное отверстие;
 - 3 – изображение контура печатной платы;
 - 4 – знак совмещения.
- Размеры **A** и **B** определяются габаритами печатной платы.

Рис. 3.18. Пример изображения трафарета для печатных плат малого формата.

IX. Схемы и размеры контактных площадок для элементов поверхностного монтажа.

При проектировании контактных площадок следует руководствоваться стандартом IPC-SM 782A (стандарт на проектирование поверхностного монтажа и схемы контактных площадок).

Анализ литературных данных, замеров на "живых" печатных платах ведущих производителей (в частности японских) электронных плат и сопоставление с данными стандарта IPC-SM 782A показывает, что размер контактных площадок, в особенности для чип-компонентов, сильно разнятся (см. табл. 3.5, глава X).

И это понятно почему – технология производства печатных плат и поверхностного монтажа (SMT–монтажа) постоянно совершенствуется: с одной стороны, увеличивается количество слоев и уменьшаются проектные нормы печатных плат, а с другой стороны, совершенствуется технологическое оборудование (в частности уменьшаются погрешности установки компонентов и совмещения отпечатка паяльной пасты относительно контактных площадок). Все это позволяет увеличивать плотность монтажа и, следовательно, увеличивать и функциональные параметры электронных блоков.

Естественно, что основными заказчиками или разработчиками пакетов программ САПР для проектирования печатных плат являются передовые фирмы-производители электронных плат и ориентированы эти пакеты программ на последние достижения в технологии с учетом конкретных параметров технологического оборудования.

Многие отечественные конструкторы используют последние разработки пакетов программ для проектирования печатных плат, автоматически используя САПР без какой-либо корректировки библиотеки схем контактных площадок. Затем в процессе SMT–монтажа выясняется, что процесс "не идет", так как не учтены реальные погрешности установки компонентов или погрешности совмещения отпечатков паяльной пасты с контактными площадками. Более того, достаточно часты случаи, когда из-за необходимости срочно изготовить печатные платы, их изготавливают на отечественных предприятиях или фирмах, не обеспечивающих достаточной точности совмещения базирующих отверстий с печатным рисунком, а вдобавок комплектующие приобретены по принципу "попроще, да подешевле". И зачастую это приводит к досадной ситуации: автоматизированная линия SMT–монтажа есть; и платы, спроектированные с помощью новейшего пакета программ САПР, есть, и комплектующие есть, а бездефектный SMT–монтаж выполнить невозможно.

С целью исключения подобной ситуации с одной стороны и, в то же время, увеличения плотности монтажа по сравнению с возможностями достаточно устаревшего стандарта IPC-SM 782A с другой стороны, изложим методику и результаты расчета схем контактных площадок для чип-компонентов (с учетом максимального разброса допусков геометрических размеров), имеющих на отечественном рынке поставщиков электронных компонентов.

Имеющаяся в «PCB-Technology» автоматизированная линия SMT-монтажа предназначена для серийного и крупносерийного производства, и настройка технологического оборудования выполняется по эталонному образцу печатной платы. Отклонения положения компонента на контактных площадках от проектного положения на рабочих платах определяются погрешностью δ_0 установки компонента, состоящей из суммы погрешностей:

$$\delta_0 = \delta_1 + \delta_2, \quad (1)$$

где:

δ_1 – кинематическая погрешность робота-установщика компонентов;

δ_2 – погрешность совмещения координатной системы робота-установщика с осями координат печатного рисунка платы.

Кинематическая погрешность δ_1 зависит от типа применяемого робота-установщика (см. раздел 2) и не превышает:

$$\delta_1 = \begin{cases} \pm 0,05 \text{ мм для высокоскоростных роботов-установщиков (тип 1);} \\ \pm 0,025 \text{ мм для прецизионных роботов-установщиков (тип 2).} \end{cases} \quad (2)$$

Погрешность δ_2 совмещения координатной системы робота-установщика с осями координат печатного рисунка платы для робота типа 1 численно равна погрешности совмещения базирующего отверстия с печатным рисунком на плате, а для роботов типа 2 – разбросу параметров реперных знаков (разброс диаметров, неравномерность толщины и контрастности покрытия):

$$\delta_2 = \begin{cases} \delta^* - \text{для высокоскоростных роботов-установщиков (тип 1);} \\ \Delta D - \text{для прецизионных роботов-установщиков (тип 2),} \end{cases} \quad (3)$$

где: δ^* – погрешность совмещения базирующего отверстия с печатным рисунком платы;
 ΔD – погрешность прецизионного робота-установщика, связанная с кинематической воспроизводимостью позиционирования SMD-компонента и с разбросом параметров реперных знаков.

Обычно значения δ^* и ΔD не превышают: $\delta^* = \pm 0,5$ мм, $\Delta D = \pm 0,025$ мм, и тогда выражение (3) принимает значения:

$$\delta_2 = \begin{cases} \pm 0,05 \text{ мм для роботов-установщиков типа 1;} \\ \pm 0,025 \text{ мм для роботов-установщиков типа 2.} \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, общая погрешность установки чип-элемента может достигать значений:

$$\delta_0 = \begin{cases} \pm 0,1 \text{ мм (при } \delta^* \leq \pm 0,05 \text{ мм) для роботов-установщиков типа 1;} \\ \pm 0,05 \text{ мм для роботов-установщиков типа 2.} \end{cases} \quad (5)$$

Чип-элементы характеризуются геометрическими размерами, рис. 3.19, номинальные значения (L_H , W_H , D_H , T_H) и реальные разбросы (ΔL , ΔW , ΔD , ΔT) которых для ряда типоназваний SMD-компонентов приведены в таблице 3.2.

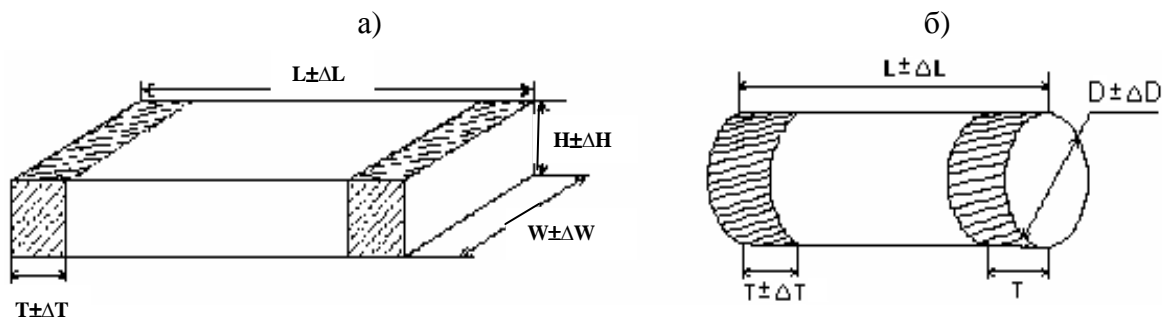


Рис. 3.19. Изображение чип-элементов: а) прямоугольных; б) цилиндрических

Обозначения:

$L_H, \Delta L$ – номинальная длина и разброс длины чип-элемента;
 $W_H, \Delta W$ – номинальная ширина и разброс ширины чип-элемента;
 $D_H, \Delta D$ – номинальный диаметр и разброс диаметра чип-элемента;
 $H, \Delta H$ – высота и разброс высоты чип-элемента;
 $T_H, \Delta T$ – номинальная ширина и разброс ширины металлизированного вывода.

Схема контактных площадок для чип-элементов характеризуется параметрами, приведенными на рис. 3.20.

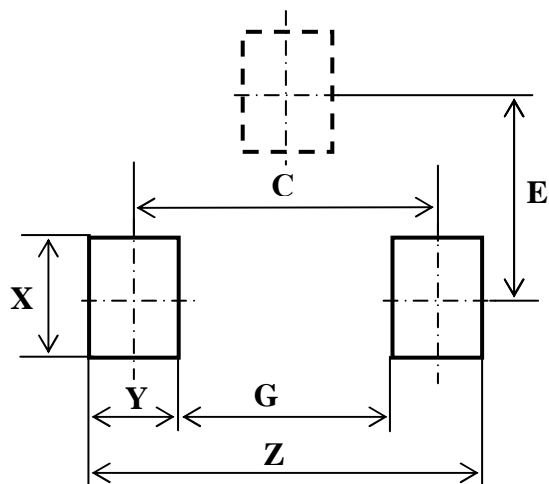


Рис. 3.20. Изображение схемы контактных площадок для чип-элемента (пунктиром – дополнительно для малогабаритных транзисторов SOT-23, SOT-323).

Обозначения:

- X – ширина площадки,
- Y – длина площадки,
- G – внутреннее расстояние между площадками,
- C – межцентровое расстояние между площадками;
- Z – внешнее расстояние между площадками,
- E – межцентровое расстояние между площадками для транзистора типа SOT - 23.

Наиболее критичным параметром из схемы контактных площадок для SMT-монтажа является параметр **G**, т.е. внутреннее расстояние между контактными площадками, так как при наименьшей длине чип-элемента и максимальном рассовмещении чип-элемента относительно контактных площадок, рис. 3.21,

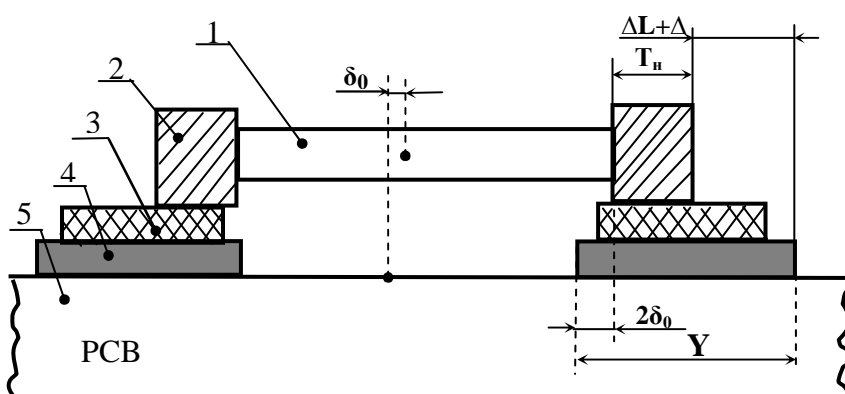


Рис. 3.21. Изображение наиболее критичного положения чип-элемента на контактных площадках.

- 1 – чип-элемент ($L=L_{\min}$, максимально рассовмещен вправо),
- 2 – металлизированный вывод чип-элемента (T_n - его номинальная ширина),
- 3 – паяльная паста (изображена без рассовмещения),
- 4 – контактная площадка,
- 5 – печатная плата,
- δ_0 – величина рассовмещения чип-элемента относительно середины схемы контактных площадок.

необходимо, чтобы металлизированный вывод чип-элемента номинальной ширины T_n укладывался в пределах границ контактной площадки. Сильно уменьшать значение **G** нецелесообразно из-за возрастающего количества паяльной пасты на контактной площадке, что может вызвать при пайке образование шариков припоя под чип-элементами и замыкание (или утечки) между контактными площадками.

Это также нецелесообразно при проектировании печатных плат из-за необходимости упрощения схем за счет проведения проводников между контактными площадками под чип-элементом.

Таким образом, максимальное значение параметра **G** составляет:

$$G = L - \Delta L - 2T_n - 2\delta_0. \quad (6)$$

Размер **Y** контактной площадки должен включать (рис. 3.21.):

- ширину **T_n** металлизированного вывода чип-элемента;
- разброс ΔL длины чип-элемента;
- погрешность δ_0 совмещения чип-элемента с контактными площадками;
- дополнительное значение Δ_0 длины контактной площадки для формирования паяного соединения в виде буртика припоя на торце чип-элемента.

Таким образом:

$$Y = T_n + \Delta L + 2\delta_0 + \Delta_0, \quad (7)$$

где Δ_0 – значение удлинения контактных площадок для формирования буртика припоя.

Имеется достаточно большое количество неоднозначных методик по расчету значения Δ_0 .

Однако, если проанализировать рекомендуемые и внедренные в производство монтажа печатных плат передовых фирм (таблица 3.5, глава **X**) минимальный размер **Y** контактной площадки, то можно заметить, что значение Δ_0 , определяемое из выражения :

$$\Delta_0 = 0,5(Z - L - \Delta L - 2\delta_0), \quad (8)$$

для плат с высокой плотностью монтажа равна половине номинальной ширины металлизированного вывода чип-элемента. Таким образом, минимальный размер **Y** контактной площадки можно описать формулой:

$$Y = 1,5T_n + \Delta L + 2\delta_0, \quad (9)$$

где в зависимости от погрешности δ_0 установки компонентов (зависит от типа используемого оборудования и точности изготовления печатных плат) значения параметра **Y/T** изменяется

от **Y/T** ~ 2 до **Y/T** ~ 3, (см. таблицу 3.5 главы **X**).

Межцентровое расстояние **C** между центрами контактных площадок определяется выражением:

$$C = G + Y = L - 0,5 T_n. \quad (10)$$

Внешнее расстояние **Z** между контактными площадками определяется как

$$Z = G + 2Y = C + Y = L + \Delta L + T_n + 2\delta_0. \quad (11)$$

Ширину **X** контактных площадок в зависимости от погрешности установки компонентов и плотности монтажа выбирают в пределах от номинального **W_н** до максимального **W_{max} = W_н + ΔW** значений ширины чип-компонента. Для печатных плат с умеренной плотностью монтажа целесообразно ширину **X** контактных площадок определять как

$$X = W_n + \delta_0. \quad (12)$$

В таблице 3.6. главы **X** представлены результаты расчета геометрических параметров контактных площадок (и их характеристик **G/L**, **X/W**, **Y/T**) по формулам (6)-(12) (для компонентов, параметры которых приведены здесь же) для трех вариантов погрешностей установки компонентов:

- **вариант I** применяется для изделий с высокой плотностью монтажа, осуществляемого с помощью прецизионных роботов-установщиков (тип 2); погрешность установки компонентов составляет $\delta_0 = \pm 0,05$ мм, при этом обязательно наличие реперных знаков на плате, отстоящих друг от друга не более 150 мм;

- **вариант II** применяется для изделий со средней и повышенной плотностями монтажа, осуществляемых с помощью высокоскоростных роботов-установщиков (тип 1); погрешность установки компонентов составляет $\delta_0 = \pm 0,1$ мм при величине рассовмещения печатного рисунка с базирующими отверстиями платы не более $\pm 0,05$ мм (изготовление печатных плат на импортном оборудовании);

- **вариант III** применяется для тех же целей, что и вариант II, но с величиной рассовмещения печатного рисунка с базирующими отверстиями платы до 0,1 мм (изготовление печатных плат на отечественном оборудовании), при этом погрешность установки компонентов составляет

$$\delta_0 = \pm 0,15 \text{ мм.}$$

Для серийного и крупносерийного производства поверхностного монтажа печатных плат целесообразно по технико-экономическим показателям использовать **вариант II** (при этом **вариант I** можно использовать частично для компонентов с типоразмером 0603 и в исключительных случаях с типоразмерами 0805 и 1206). **Вариант III** целесообразно применять для опытных или мелких серий поверхностного монтажа печатных плат, изготавливаемых на отечественном оборудовании.

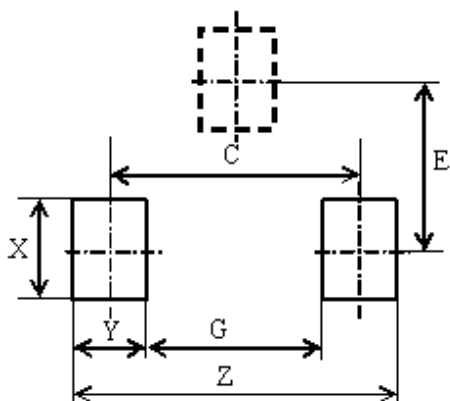
Таким образом, на основании приведенных расчетов и сопоставительного анализа схем контактных площадок в табл.3.2. представлены рекомендуемые размеры унифицированных схем контактных площадок для наиболее используемых чип-компонентов, имеющих на отечественном рынке поставщиков электронных компонентов.

При этом необходимо обеспечить точность совмещения печатного рисунка с базирующими отверстиями на плате не хуже $\pm 0,05$ мм (изготовление печатных плат на импортном оборудовании). В случае, если точность совмещения печатного рисунка с базирующими отверстиями обеспечивается в пределах $\pm 0,1$ мм (изготовление печатных плат на отечественном оборудовании), то размеры контактных площадок необходимо изменить (см. таблицу 3.6 главы X):

- размер **G** необходимо уменьшить на 0,1 мм;
- размер **Y** необходимо увеличить на 0,1 мм;
- размер **X** необходимо увеличить на 0,05 мм.

Для компонентов, не приведенных в табл. 3,2, размеры схем контактных площадок можно рассчитать по формулам (6) - (12) или использовать из стандарта IPC-SM 782A.

Рекомендуемые размеры схем контактных площадок
для ЧИП-компонентов.



Унифицированные размеры
контактных площадок
для серийного автоматизированного
монтажа в «Пи-Си-Би Технолоджис»
чип-компонентов с максимальными разбросами
размеров от различных производителей.

(все значения в мм)

Компо- ненты	Типо- размер	$L \pm \Delta L$ (P)	$W \pm \Delta W$ (D $\pm \Delta D$)	$T \pm \Delta T$	G не более	X не менее	Y не менее	C	Z	E
R, C, L прямо- уголь- ные (чип)	0603	$1,6 \pm 0,15$	$0,8 \pm 0,15$	$0,3 \pm 0,15$	0,7	0,9	0,8	1,5	2,3	-
	0805	$2,0 \pm 0,2$	$1,25 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,25$	0,8	1,3	1,0	1,8	2,8	-
	1206	$3,2 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,25$	1,8	1,7	1,2	3,0	4,2	-
	1210	$3,2 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,25$	1,8	2,6	1,2	3,0	4,2	-
	1218	$3,2 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,3$	$0,5 \pm 0,25$	1,8	4,6	1,2	3,0	4,2	-
	1806	$4,5 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,35$	2,8	1,7	1,4	4,2	5,6	-
	1808	$4,5 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,35$	2,8	2,1	1,4	4,2	5,6	-
	1812	$4,5 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,35$	2,8	3,3	1,4	4,2	5,6	-
	1825	$4,5 \pm 0,3$	$6,4 \pm 0,4$	$0,6 \pm 0,35$	2,8	6,5	1,4	4,2	5,6	-
	2010	$5,0 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,35$	3,3	2,6	1,4	4,7	6,1	-
	2220	$5,6 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,35$	3,8	5,1	1,5	5,3	6,8	-
	2225	$5,6 \pm 0,4$	$6,3 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,35$	3,8	6,4	1,5	5,3	6,8	-
	2512	$6,3 \pm 0,4$	$3,2 \pm 0,2$	$0,6 \pm 0,35$	4,5	3,3	1,5	6,0	7,5	-
	2824	$7,1 \pm 0,4$	$6,1 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,35$	5,3	6,2	1,5	6,8	8,3	-
	3225	$8,0 \pm 0,4$	$6,3 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,35$	6,2	6,4	1,5	7,7	9,2	-
R, C, VD цилин- дричес- кие (MELF)	SOD-80	$3,5 \pm 0,2$	$1,65 \pm 0,05$	$0,48 \pm 0,07$	2,1	1,7	1,2	3,3	4,5	-
	SOD-80C	$3,5 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,07$	2,4	1,6	0,9	3,3	4,2	-
	SOD-87	$3,5 \pm 0,2$	$2,05 \pm 0,05$	$0,43 \pm 0,07$	2,2	2,1	1,1	3,3	4,4	-
	ERD03LL	$1,6 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,07$	0,9	1,1	0,6	1,5	2,1	-
	ERD21L	$2,0 \pm 0,1$	$1,25 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,07$	1,1	1,3	0,8	1,9	2,7	-
	SM1	$5,0 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,07$	3,6	2,6	1,2	4,8	6,0	-
	ERSM	$5,9 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,05$	$0,6 \pm 0,07$	4,3	2,3	1,3	5,6	6,9	-
	MMU	$2,15 \pm 0,05$	$1,05 \pm 0,05$	$0,4 \pm 0,05$	1,1	1,1	0,9	2,0	2,9	-
	MMA	$3,5 \pm 0,1$	$1,35 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,1$	1,6	1,4	1,5	3,1	4,6	-
	MMB	$5,7 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,2$	3,0	2,2	2,1	5,1	7,2	-
VD,	SOT-23	(1,9)	-	$0,43 \pm 0,05$	1,0	1,2	0,9	1,9	2,8	2,2
VT	SOT-323	(1,3)	-	$0,3 \pm 0,1$	0,6	0,8	0,7	1,3	2,0	1,8

При проектировании контактных площадок для SMD-компонентов с определенным шагом выводов (микросхемы, разъемы и т. п.) наибольшее затруднение вызывает правильность выбора ширины контактной площадки. Здесь необходимо руководствоваться следующими правилами:

1) целесообразно соблюдать общее правило для микросхем: размер окон в трафарете должен быть не более 50 % от шага выводов компонента;

2) минимальная ширина **Xmin** контактной площадки должна быть такой, чтобы при максимальной ширине **Tmax** вывода микросхемы и при максимальной погрешности δ_0 установки компонента смещение вывода микросхемы за край контактной площадки не превышало 1/3 ширины **Tmax**. То есть, минимальная ширина контактной площадки должна включать 2/3 ширины и допустимое рассовмещение в обе стороны:

$$X_{min} = 2/3 T_{max} + 2 \delta_0; \quad (13)$$

3) максимальная ширина **Xmax** контактной площадки не должна превышать 0,55 шага **P** выводов микросхемы (в этом случае ширина окна в трафарете, составляющая обычно 0,9 ширины контактной площадки, не превысит 0,5 шага выводов микросхем):

$$X_{max} = 0,55 P. \quad (14)$$

Максимальные ширины выводов наиболее распространенных микросхем приведены в таблице 3.4 главы **X** (данные из стандарта IPC-SM 782A). Здесь же приведены рекомендуемые по стандарту ширины контактных площадок, однако, как показывает анализ схем контактных площадок современных печатных плат передовых производителей, они несколько завышены из-за того, что по стандарту IPC-SM 782A наличие паяльной маски между соседними площадками не является обязательным.

Наличие паяльной маски между соседними контактными площадками на плате по известным причинам (см. гл. VIII) желательно. В таблице 3.3 представлены расчеты по формулам (13-14) значений **Xmin**, **Xmax** и рекомендуемые оптимальные значения ширины **X** контактных площадок для максимальных ширин **Tmax** выводов микросхем. Здесь же приведены ширины **X*** окон в трафарете, ширины **A** перемычки из паяльной маски между контактными площадками и величины **B** зазора между краями паяльной маски и контактной площадки (см. рис.3.16) при изготовлении печатных плат на импортном оборудовании.

Таблица 3.3.

Рекомендуемые ширины унифицированных контактных площадок для микросхем.

P, мм	Tmin, мм	Tmax, мм	δ₀, мм	Xmin, мм	Xmax, мм	X, мм	X*, мм	A, мм	B, мм
0,5	0,1	0,3	0,05	0,3	0,275	0,27	0,25	0,1	0,065
0,635	0,15	0,38	0,05	0,35	0,35	0,35	0,31	0,135	0,075
0,65	0,2	0,4	0,05	0,37	0,36	0,36	0,32	0,14	0,075
0,8	0,3	0,45	0,1*	0,5	0,44	0,45	0,4	0,2	0,075
1,27	0,2	0,56	0,1*	0,57	0,7	0,6	0,55	0,52	0,075

Обозначения:

- P** – шаг выводов микросхем;
- Tmin, Tmax** – минимальная и максимальная ширины выводов микросхем;
- δ₀** – погрешность установки микросхем;
- Xmin** – минимально-требуемая ширина контактной площадки (по формуле 13);
- Xmax** – максимально-допустимая ширина контактной площадки (по формуле 14);
- X** – оптимальная рекомендуемая ширина контактной площадки;
- X*** – ширина окна в трафарете;
- A** – ширина перемычки из паяльной маски между контактными площадками;
- B** – зазор между краями паяльной маски и контактной площадки;
- (*) – при точности совмещения печатного рисунка с базовыми отверстиями на плате не хуже $\pm 0,05$ мм.

Х. Приложение к разделу 3. (Справочная информация).

Таблица 3,4

Рекомендуемые по стандарту IPC-SM 782A значения ширины контактных площадок для микросхем.

Тип корпуса	P, мм	Tmin, мм	Tmax, мм	X, мм
SOIC	1,27	0,33	0,51	0,6
	1,27	0,36	0,51	0,6
SSOIC	0,635	0,2	0,3	0,4
	0,8	0,3	0,45	0,5
SOP	1,27	0,35	0,51	0,6
TSOP	0,3	0,05	0,15	0,17
	0,4	0,05	0,22	0,25
	0,5	0,1	0,3	0,3
	0,65	0,2	0,4	0,4
CFP	1,27	0,25	0,35	0,65
	1,27	0,46	0,56	0,65
SOJ	1,27	0,38	0,51	0,6
PQFP	0,635	0,2	0,3	0,35
SQFP QFP	0,3	0,05	0,15	0,17
	0,4	0,05	0,22	0,25
	0,5	0,1	0,3	0,3
	0,65	0,22	0,38	0,4
	0,8	0,3	0,45	0,5
CQFP	0,635	0,12	0,25	0,35
	0,635	0,15	0,38	0,4
	0,8	0,3	0,46	0,5
	1,27	0,2	0,33	0,65
	1,27	0,32	0,48	0,65
PLCC	1,27	0,33	0,53	0,6
LCC	1,27	0,56	1,04	0,8
DIP-SMD	2,54	0,36	0,56	1,2

Обозначения:

- P** – шаг выводов микросхем;
Tmin, Tmax – минимальная и максимальная ширины выводов микросхем;
X – рекомендуемая ширина контактной площадки.

Таблица 3.5.

Данные реальных геометрических параметров компонентов (с максимальными разбросами от различных производителей) и сравнительные параметры схем контактных площадок, рекомендуемые по стандарту IPC SM – 782A и ведущими производителями.

(все значения в мм)

Компо- нент	Параметры Компонентов				По стандарту IPC SM-782A						По рекомендации Philips						Данные Японских производителей					
	Типо- размер	L±ΔL	W±ΔW (D±ΔD)	T±ΔT	G	X	Y	G/L	X/W	Y/T	G	X	Y	G/L	X/W	Y/T	G	X	Y	G/L	X/W	Y/T
R,C,L (чип)	0402	1,0±0,1	0,5±0,1	0,2±0,1	0,4	0,7	0,9	0,4	1,4	4,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	2,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,9	2,2
	0504	1,3±0,15	1,0±0,25	0,25±0,13	0,4	1,3	1,0	0,31	1,3	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0603	1,6±0,15	0,8±0,15	0,3±0,15	0,6	1,0	1,1	0,38	1,38	3,7	0,7	0,8	0,8	0,44	1,0	2,7	0,8	0,75	0,7	0,5	0,94	2,3
	0805	2,0±0,2	1,25±0,2	0,4±0,25	0,6	1,5	1,3	0,3	1,2	3,2	1,0	1,3	0,9	0,5	1,04	2,2	1,1	1,2	0,85	0,55	0,96	2,1
	1206	3,2±0,2	1,6±0,2	0,5±0,25	1,2	1,8	1,6	0,38	1,12	3,2	2,0	1,6	0,9	0,62	1,0	1,8	2,05	1,6	0,85	0,64	1,0	1,7
	1210	3,2±0,2	2,5±0,2	0,5±0,25	1,2	2,7	1,6	0,38	1,08	3,2	2,0	2,5	0,9	0,62	1,0	1,8	2,05	2,5	0,85	0,64	1,0	1,7
	1812	4,5±0,3	3,2±0,2	0,6±0,35	2,0	3,4	1,9	0,44	1,06	3,2	3,3	3,2	0,9	0,73	1,0	1,5	3,3	3,2	0,9	0,73	1,0	1,5
	1825	4,5±0,3	6,4±0,4	0,6±0,35	2,0	6,8	1,9	0,44	1,06	3,2	3,3	6,4	0,9	0,73	1,0	1,5	3,3	6,4	0,9	0,73	1,0	1,5
	2010	5,0±0,3	2,5±0,2	0,6±0,35	2,6	2,7	1,9	0,52	1,08	3,2	3,8	2,5	0,9	0,76	1,0	1,5	3,8	2,5	0,9	0,76	1,0	1,5
	2220	5,6±0,4	5,0±0,25	0,6±0,35	-	-	-	-	-	-	4,3	5,0	0,9	0,77	1,0	1,5	4,3	5,0	0,9	0,77	1,0	1,5
	2225	5,6±0,4	6,3±0,3	0,6±0,35	-	-	-	-	-	-	4,3	6,3	0,9	0,77	1,0	1,5	4,3	6,3	0,9	0,77	1,0	1,5
	2512	6,3±0,4	3,2±0,2	0,6±0,35	3,8	3,4	1,8	0,6	1,06	3,0	5,0	3,2	0,9	0,79	1,0	1,5	5,0	3,2	0,9	0,79	1,0	1,5
VD, R,C (MELF)	SOD-80	3,5±0,2	1,65±0,05	0,48±0,07	2,0	1,8	1,4	0,57	1,09	2,9	2,3	1,7	1,0	0,66	1,03	2,1	2,3	1,6	1,0	0,66	0,97	2,1
	SOD-80C	3,5±0,2	1,5±0,05	0,3±0,07							2,3	1,5	1,0	0,66	1,0	2,1	2,3	1,5	1,0	0,66	1,0	2,1
	SOD-87	3,5±0,2	2,05±0,05	0,43±0,07																		
	ERD03LL	1,6±0,1	1,0±0,05	0,2±0,07																		
	ERD21L	2,0±0,1	1,25±0,05	0,3±0,07	0,6	1,3	1,3	0,3	1,04	4,3												
	SM1	5,0±0,2	2,5±0,2	0,5±0,07	3,4	2,6	1,45	0,68	1,04	3,4												
	ERSM	5,9±0,2	2,2±0,05	0,6±0,07	4,2	2,2	1,5	0,71	1,06	2,5												
	MMU	2,15±0,05	1,05±0,05	0,4±0,05																		
	MMA	3,5±0,1	1,35±0,05	0,8±0,1																		
	MMB	5,7±0,1	2,1±0,1	1,2±0,2																		
VD, VT	SOT-23	2,33±0,1	2,45±0,15	0,43±0,05	0,9	1,4	1,0	-	-	-	1,1	0,9	0,8	-	-	-						
	SOT-323	1,6±0,1	2,0±0,1	0,3±0,1	-	-	-	-	-	-	0,7	0,6	0,6	-	-	-	0,7	0,6	0,6	-	-	-

Таблица 3.6.

Таблица 3.6.

Результаты расчета параметров схем контактных площадок по формулам (6)÷(12)
для различных погрешностей установки компонентов.

(все значения в мм)

Компо- нент	Типо- раз- мер	L±ΔL	W±ΔW (D±ΔD)	T±ΔT	C	Вариант I (δ ₀ = ± 0,05мм)						Вариант II (δ ₀ = ± 0,1мм)						Вариант III (δ ₀ = ± 0,15мм)					
						G	X	Y	G/L	X/W	Y/T	G	X	Y	G/L	X/W	Y/T	G	X	Y	G/L	X/W	Y/T
R,C,L (чип)	0402	1,0±0,1	0,5±0,1	0,2±0,1	0,9	0,4	0,55	0,5	0,4	1,1	2,5	0,3	0,6	0,65	0,3	1,2	3,2	0,2	0,65	0,75	0,2	1,4	3,8
	0504	1,3±0,15	1,0±0,25	0,25±0,13	1,2	0,55	1,05	0,65	0,42	1,05	2,6	0,45	1,1	0,75	0,35	1,1	3,0	0,35	1,15	0,85	0,27	1,15	3,4
	0603	1,6±0,15	0,8±0,15	0,3±0,15	1,5	0,75	0,85	0,7	0,47	1,06	2,3	0,65	0,9	0,8	0,4	1,12	2,7	0,55	0,95	0,9	0,34	1,19	3,0
	0805	2,0±0,2	1,25±0,2	0,4±0,25	1,8	0,9	1,3	0,9	0,45	1,04	2,2	0,8	1,35	1,0	0,4	1,08	2,5	0,7	1,4	1,1	0,35	1,12	2,8
	1206	3,2±0,2	1,6±0,2	0,5±0,25	3,0	1,9	1,65	1,1	0,59	1,03	2,2	1,8	1,7	1,2	0,56	1,06	2,4	1,7	0,75	1,3	0,53	1,09	2,6
	1210	3,2±0,2	2,5±0,2	0,5±0,25	3,0	1,9	2,55	1,1	0,59	1,02	2,2	1,8	2,6	1,2	0,56	1,04	2,4	1,7	2,65	1,3	0,53	1,06	2,6
	1812	4,5±0,3	3,2±0,2	0,6±0,35	4,2	2,9	3,25	1,3	0,64	1,02	2,2	2,8	3,3	1,4	0,62	1,03	2,3	2,7	3,35	1,5	0,6	1,05	2,5
	1825	4,5±0,3	6,4±0,4	0,6±0,35	4,2	2,9	6,45	1,3	0,64	1,01	2,2	2,8	6,5	1,4	0,62	1,02	2,3	2,7	6,55	1,5	0,6	1,02	2,5
	2010	5,0±0,3	2,5±0,2	0,6±0,35	4,7	3,4	2,55	1,3	0,7	1,02	2,2	3,3	2,6	1,4	0,66	1,04	2,3	3,2	2,65	1,5	0,64	1,06	2,5
	2220	5,6±0,4	5,0±0,25	0,6±0,35	5,3	3,9	5,05	1,4	0,7	1,01	2,3	3,8	5,1	1,5	0,68	1,02	2,5	3,7	5,15	1,6	0,66	1,03	2,7
	2225	5,6±0,4	6,3±0,3	0,6±0,35	5,3	3,9	6,35	1,4	0,7	1,01	2,3	3,8	6,4	1,5	0,68	1,02	2,5	3,7	6,45	1,6	0,66	1,02	2,7
	2512	6,3±0,4	3,2±0,2	0,6±0,35	6,0	4,6	3,25	1,4	0,73	1,02	2,3	4,5	3,3	1,5	0,71	1,03	2,5	4,4	3,35	1,6	0,7	1,05	2,7
VD, R,C (MELF)	SOD-80	3,5±0,2	1,65±0,05	0,48±0,07	3,25	2,25	1,7	1,0	0,64	1,03	2,1	2,15	1,75	1,1	0,61	1,06	2,3	2,05	1,8	1,2	0,58	1,09	2,5
	SOD-80C	3,5±0,2	1,5±0,05	0,3±0,07	3,35	2,6	1,55	0,75	0,74	1,03	2,5	2,5	1,6	0,85	0,71	1,06	2,8	2,4	1,65	0,95	0,68	1,1	3,2
	SOD-87	3,5±0,2	2,05±0,05	0,43±0,07	3,3	2,35	2,1	0,95	0,67	1,02	2,2	2,25	2,15	1,05	0,64	1,05	2,4	2,15	2,2	1,15	0,61	1,07	2,7
	ERD03LI	1,6±0,1	1,0±0,05	0,2±0,07	1,5	1,0	1,05	0,5	0,62	1,05	2,5	0,9	1,1	0,6	0,56	1,1	3,0	0,8	1,15	0,7	0,5	1,15	3,5
	ERD21L	2,0±0,1	1,25±0,05	0,3±0,07	1,85	1,2	1,3	0,65	0,6	1,04	2,2	1,1	1,35	0,75	0,55	1,08	2,5	1,0	1,4	0,85	0,5	1,12	2,8
	SM1	5,0±0,2	2,5±0,2	0,5±0,07	4,75	3,7	2,55	1,05	0,74	1,02	2,1	3,6	2,6	1,15	0,72	1,04	2,3	3,5	2,65	1,25	0,7	1,06	2,5
	ERSM	5,9±0,2	2,2±0,05	0,6±0,07	5,6	4,4	2,25	1,2	0,74	1,02	2,0	4,3	2,3	1,3	0,73	1,05	2,2	4,2	2,35	1,4	0,71	1,07	2,3
	MMU	2,15±0,05	1,05±0,05	0,4±0,05	1,95	1,2	1,1	0,75	0,56	1,05	1,9	1,1	1,15	0,85	0,51	1,1	2,1	1,0	1,2	0,95	0,46	1,14	2,4
	MMA	3,5±0,1	1,35±0,05	0,8±0,1	3,1	1,7	1,4	1,4	0,48	1,04	1,8	1,6	1,45	1,5	0,46	1,07	1,9	1,5	1,5	1,6	0,43	1,11	2,0
	MMB	5,7±0,1	2,1±0,1	1,2±0,2	5,1	3,1	2,15	2,0	0,54	1,02	1,7	3,0	2,2	2,1	0,52	1,05	1,8	2,9	2,25	2,2	0,51	1,07	1,8