

СТАНДАРТЫ IPC ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СБОРКЕ ПЛАТ С КОМПОНЕНТАМИ С КОНТАКТНЫМИ ПЛОЩАДКАМИ НА НИЖНЕЙ СТОРОНЕ КОРПУСА

А.Нисан edu@ostec-group.ru

Компоненты с контактными площадками на нижней стороне корпуса (bottom termination component, BTC) находят все более широкое применение благодаря меньшей толщине корпуса, меньшей площади посадочного места на плате, меньшим паразитным параметрам корпуса, более высоким тепловым характеристикам*. В то же время, применение таких компонентов порождает ряд вопросов, например, относительно выбора размеров контактных площадок, шага и диаметра переходных отверстий в теплоотводящей площадке, а также способа защиты этих отверстий от затекания в них припоя, проектирования трафарета для нанесения оптимального количества пасты, профиля пайки. В статье на основе стандартов IPC рассматриваются эти и другие актуальные вопросы применения компонентов BTC.

В 2011 году Ассоциацией IPC был выпущен стандарт, работа над которым началась еще в 2008 году - IPC-7093 "Руководство по проектированию и процессу сборки с применением компонентов с контактными площадками на ниж-

ней стороне корпуса" ("Design and Assembly Process Implementation for Bottom Termination Components"). В частности, к таким корпусам относятся квадратный плоский безвыводной корпус QFN (quad flat no lead), малогабаритный безвыводной корпус SON (small outline no lead) и корпус с матричным расположением контактных площадок LGA (land grid array) (рис.1). Этот стандарт, а также ряд других стандартов Ассоциации IPC (см. врезку) в достаточной мере разрешают ряд вопросов, возникающих при применении компонентов BTC. Рассмотрим некоторые из них.

* Паразитная емкость, вносимая корпусами QFN, составляет от 12 до 50% от паразитной емкости, вносимой корпусами SSOP и SOIC. Тепловое сопротивление между поверхностью кристалла и окружающей средой для корпусов QFN на 48–63% меньше, чем у корпусов SOIC. По данным Texas Instruments, Application Report SCBA017D.

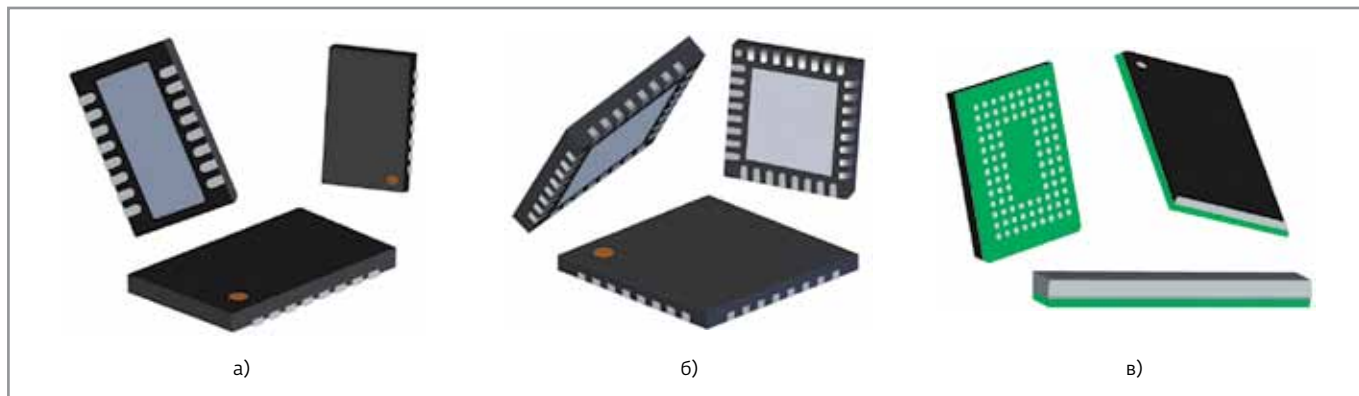


Рис.1. Типы корпусов компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса: а) SON, б) QFN, в) LGA

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ

Контактные площадки

Размеры контактных площадок на печатных платах для монтажа как поверхностно-монтажных, так и штырьковых компонентов определяются стандартом IPC-7351B. Стандарт регламентирует размеры контактных площадок для трех уровней плотности монтажа: уровень А соответствует низкой плотности монтажа, В - средней, С - высокой. Для уровня А предусматривается максимальный выступ контактных площадок за пределы вывода, для уровня С - минимальный.

К этому стандарту прилагается диск с разработанной компанией Mentor Graphics программой LP Calculator, позволяющей не только просматривать библиотеки посадочных мест под всевозможные компоненты, но и в соответствии с требованиями IPC-7351B рассчитывать размеры контактных площадок, вводя исходную информацию о типе и размерах корпуса. Например, в корпусах типа QFN контактные площадки могут быть выведены (рис.2а) и не выведены (рис.2б) на торец корпуса. Соответственно, размеры контактных площадок на печатной плате для таких корпусов должны быть различны, программа LP Calculator позволяет их определить. На рис.3 и в табл.1 приведен пример расчета размеров контактных площадок на плате под корпус

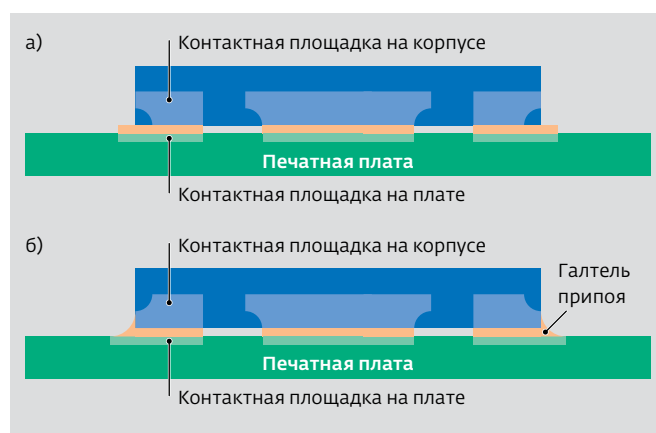


Рис.2. Монтаж компонентов в корпусе QFN с контактными площадками, заходящими (а) и не заходящими (pullback) (б) на торцы корпуса

QFN48 с шагом контактов 0,5 мм для двух случаев: контактные площадки заходят и не заходят на торец корпуса. Размеры корпуса QFN48:

Ширина и длина корпуса, мин., мм..... 6,85
 Ширина и длина корпуса, макс. 7,15
 Высота корпуса, макс., мм..... 1,00
 Ширина контактных площадок,
 мин., мм..... 0,18
 Ширина контактных площадок,
 макс., мм 0,30
 Размеры теплоотводящей контактной
 площадки, макс., мм..... 5,25×5,25

Стандарты IPC по различным вопросам применения компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса

Стандарт	Название	Год выпуска	Возможность заказа на русском языке
IPC-7093	Руководство по конструированию и процессу сборки с применением компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса	2011	Нет
IPC-A-610E	Критерии приемки электронных сборок	2010	Да
IPC-7525A	Руководящие указания по конструированию трафаретов	2007	Да
IPC-7351B*	Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат для поверхностного монтажа	2010	Нет
IPC-4761	Руководство по защите переходных отверстий печатных плат	2006	Нет

* К стандарту IPC-7351B прилагается программа LP Calculator для просмотра библиотеки посадочных мест, а также расчета посадочных мест под компоненты.

Таблица 1. Размеры посадочных мест на плате под компонент QFN48, уровень плотности монтажа В

Размер	Обозначение	Контактные площадки на компоненте заходят на торцы корпуса	Контактные площадки на компоненте не заходят на торцы корпуса
Расстояние между центрами противоположных рядов контактных площадок, мм	C1, C2	6,9	6,5
Ширина контактных площадок, мм	X1	0,3	
Длина контактных площадок, мм	Y1	0,9	0,4
Размеры теплоотводящей контактной площадки, мм	X2	5,25×5,25	5,25×5,25
Длина теплоотводящей контактной площадки, мм	Y2	5,25	
Посадочное место, мм	–	8,3×8,3	

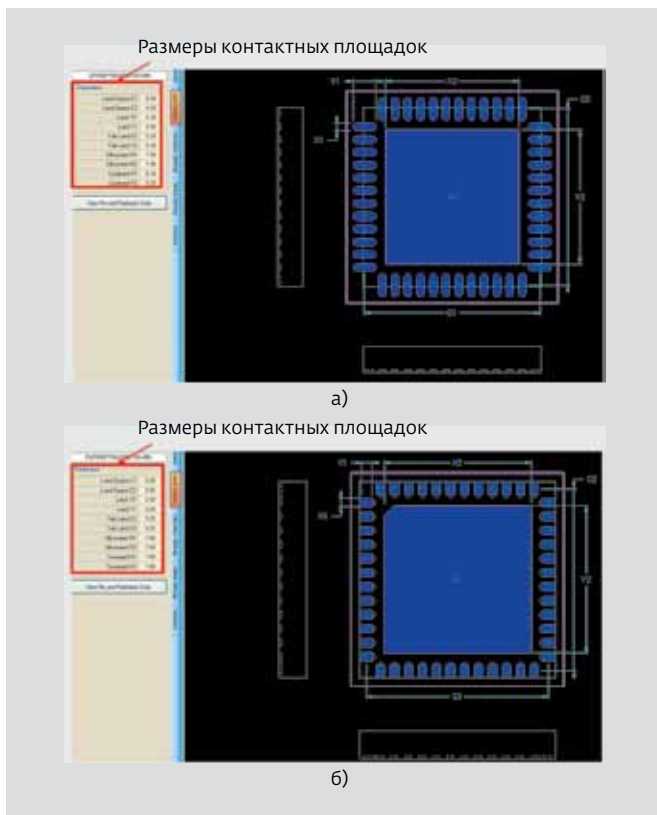


Рис.3. Скриншот программы LP Calculator с контактными площадками на плате под корпус QFN48 с шагом выводов 0,5 мм: а) контактные площадки на компоненте заходят на торцы корпуса; б) не заходят. Синим цветом выделены контактные площадки на плате, белым – контур корпуса компонента, фиолетовым – посадочное место, включая минимальную свободную область вокруг компонента

Окна в паяльной маске

Стандарт IPC-7093 рекомендует использовать контактные площадки, не ограниченные паяльной маской, причем окно в паяльной маске должно быть на 120–150 мкм больше контактной площадки (рис.4). Для обеспечения адгезии паяльной маски к плате минимальная ширина перемычки паяльной маски должна быть 75 мкм. Поэтому при шаге контактов 0,5 мм и более выполняются индивидуальные окна в паяльной маске под каждую контактную площадку, а при меньшем шаге контактов – одно окно на ряд контактных площадок (рис.5).

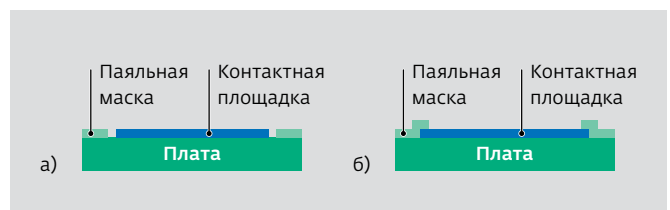


Рис.4. Контактные площадки, ограниченные (а) и не ограниченные (б) паяльной маской

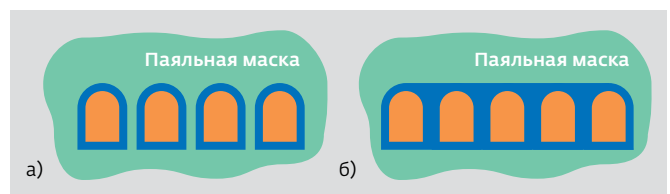


Рис.5. Окна в паяльной маске под контактные площадки: а) при шаге контактов 0,5 мм и больше; б) при шаге контактов 0,4 мм

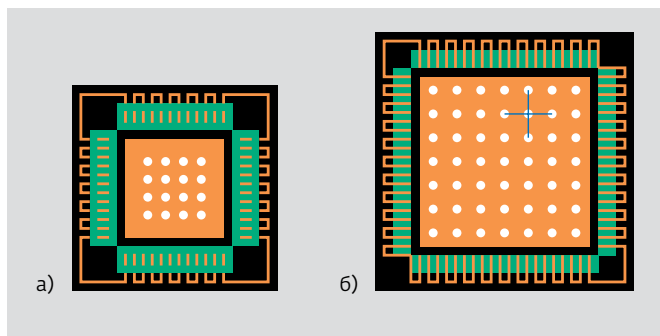


Рис.6. Пример расположения переходных отверстий в теплопроводящей площадке на печатной плате для корпуса QFN размером 7×7 мм с 48 выводами (а) и QFN размером 10×10 мм с 68 выводами (б)

ПЕРЕХОДНЫЕ ОТВЕРСТИЯ В ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ПЛОЩАДКАХ

Рекомендуемый стандартом IPC-7093 со ссылкой на National Semiconductors диаметр матрично расположенных переходных отверстий в теплопроводящей площадке составляет 0,2-0,33 мм, шаг отверстий – 1,27 мм (рис.6). Также в стандарте сказано, что обычно поставщики компонентов ВТС рекомендуют располагать переходные отверстия в теплопроводящих площадках с шагом 1,0-1,2 мм при диаметре отверстий 0,3-0,4 мм.

При пайке припой может затекать в открытые переходные отверстия в контактной площадке, что приводит к уменьшению высоты паяного

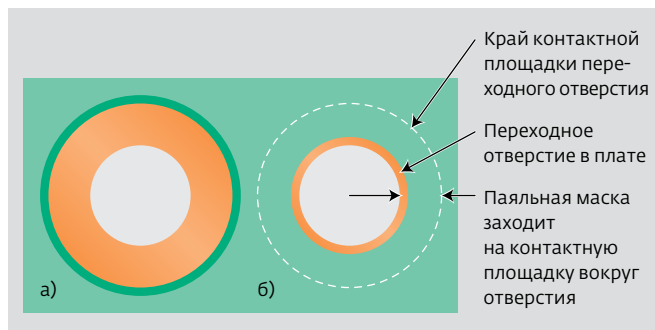


Рис.7. Сравнение контактных площадок вокруг переходного отверстия: а) между паяльной маской и контактной площадкой существует зазор, б) паяльная маска заходит на контактную площадку вокруг отверстия, но не перекрывает его. Вид снизу, т.е. не со стороны установки компонента QFN, а с обратной. *Источник: IPC-7093*

соединения. Чтобы это предотвратить, могут использоваться различные способы защиты, описанные в стандарте IPC-4761 (табл.2).

Альтернативой способам, рассмотренным в табл.2, может служить расположение паяльной маски на контактной площадке, окружающей переходное отверстие, без перекрытия самого отверстия (рис.7). Преимущество данного способа – в паяном соединении образуется мало пустот (рис.8), но при этом практически неизбежно затекание припоя в отверстия.

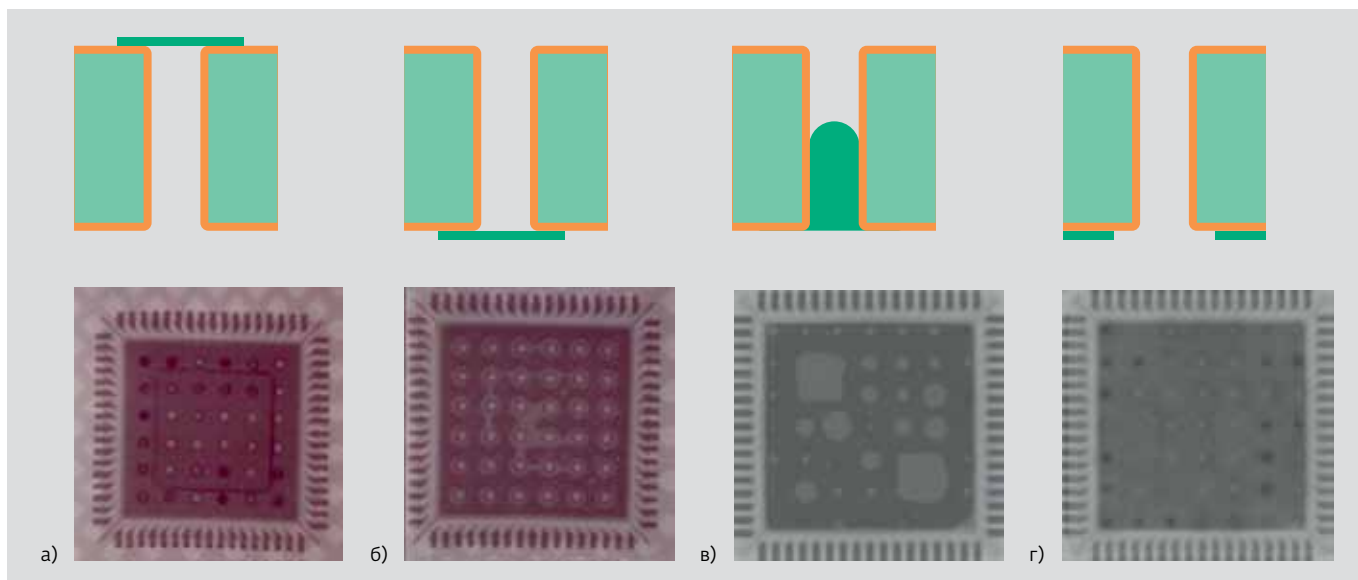
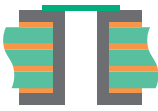


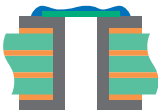
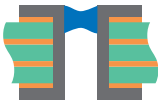
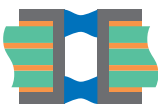


Рис.8. Рентгеновские снимки паяных соединений компонентов QFN при различных способах защиты переходных отверстий в теплоотводящей площадке: а) тентирование сверху; б) тентирование снизу; в) частичное заполнение снизу; г) заход маски на контактную площадку без перекрытия отверстия снизу. *Источник: Application Notes for Surface Mount Assembly of Amkor’s MicroLeadFrame (MLF) Packages*

Таблица 2. Возможные варианты защиты переходных отверстий

Тип	Сечения платы по отверстию	Описание	Достоинство	Сложности/недостатки
Ia		Переходное отверстие, тентированное сухим пленочным фоторезистом с одной стороны	Отработанная технология нанесения Однородная толщина	Недопустимость использования, если медные стенки отверстия ничем не покрыты Склонность к образованию проколов Не рекомендуется использовать по оплавляемым покрытиям Попадание загрязнений в отверстия
Ib		Переходное отверстие, тентированное сухим пленочным фоторезистом с двух сторон	Отработанная технология нанесения Однородная толщина Как правило, отсутствие загрязнений в отверстиях	Склонность к образованию проколов
IIa		Переходное отверстие, тентированное сухим пленочным фоторезистом и покрытое паяльной маской с одной стороны	Более высокая прочность по сравнению с типом I	Увеличение числа технологических операций Увеличенная толщина защитного покрытия Попадание загрязнений в отверстия
IIb		Переходное отверстие, тентированное сухим пленочным фоторезистом и покрытое паяльной маской с двух сторон	Более высокая прочность по сравнению с типом I	Увеличение числа технологических операций Увеличенная толщина защитного покрытия
IIIa		Переходное отверстие, частично заполненное с одной стороны	Простой способ нанесения (в том числе трафаретная печать)	Недопустимость использования, если медные стенки отверстия ничем не покрыты Наносимый материал может выступать с обратной стороны Газовыделение
IIIb		Переходное отверстие, частично заполненное с двух сторон	Простой способ нанесения (в том числе трафаретная печать)	Во время отверждения материала тепловое расширение газа в отверстии может привести к образованию проколов Сложность обеспечения повторяемости процесса при использовании термоотверждаемых материалов и жидких фотопроявляемых масок

Продолжение таблицы 2

Тип	Сечения платы по отверстию	Описание	Достоинство	Сложности/недостатки
IVa		Переходное отверстие, частично заполненное* и покрытое паяльной маской с одной стороны	Более высокая прочность: проколы в заполняющем материале могут быть перекрыты покрывающим материалом	Недопустимость использования, если медные стенки отверстия ничем не покрыты Финишные покрытия должны наноситься перед заполнением отверстия
IVb		Переходное отверстие, частично заполненное* и покрытое паяльной маской с двух сторон	Более высокая прочность: проколы в заполняющем материале могут быть перекрыты покрывающим материалом	Во время отверждения материала тепловое расширение газа в отверстии может привести к образованию проколов Сложность обеспечения повторяемости процесса при использовании термоотверждаемых материалов и жидких фотопроявляемых масок
V		Заполненное* переходное отверстие	Полное заполнение отверстия исключает попадание в отверстие загрязнений Преимущества при последовательном прессовании	Образование пустот Удаление избыточного материала с поверхности Обеспечение планарности Сложность обеспечения полного заполнения Разница коэффициентов теплового расширения заполняющего материала и основания
VI		Заполненное* переходное отверстие, покрытое паяльной маской с двух сторон	Защита площадки выше, чем у типа V Влияние раковин (тип V) может быть минимизировано	Те же, что и у типа V Большее число технологических операций
VII		Заполненное* и закрытое (металлизацией) отверстие	Возможность применения при высокой плотности монтажа Преимущества при последовательном прессовании	Адгезия металлизированного покрытия к заполняющему материалу и контактной площадке Разница коэффициентов теплового расширения металлизации и заполняющего материала приводит к образованию воздушного зазора (усадка заполняющего материала) Заполнение отверстия менее 100% может приводить к слишком малой толщине металлизации или к углублению и образованию пустоты при пайке

* Для заполнения отверстий могут использоваться термоотверждаемые двухкомпонентные материалы на основе эпоксидных смол.

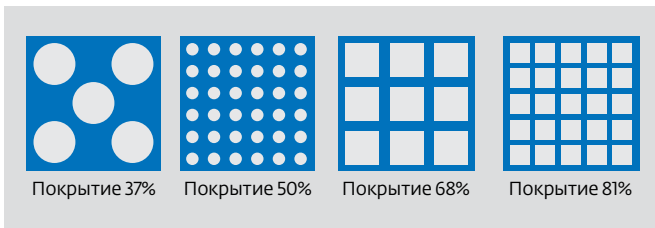


Рис.9. Возможные варианты расположения отверстий для нанесения пасты на теплоотводящую площадку 7×7 мм и 10×10 мм

В результате, помимо уменьшения высоты паяного соединения, припой может выступать из отверстий с нижней стороны платы, что препятствует качественному нанесению паяльной пасты на плату методом трафаретной печати.

Проектирование трафарета

Согласно IPC-7093, в общем случае оптимальная высота паяных соединений составляет от 50 до 75 мкм, что необходимо учитывать при проектировании трафарета. В стандарте приведены следующие рекомендации относительно отверстий для нанесения паяльной пасты на

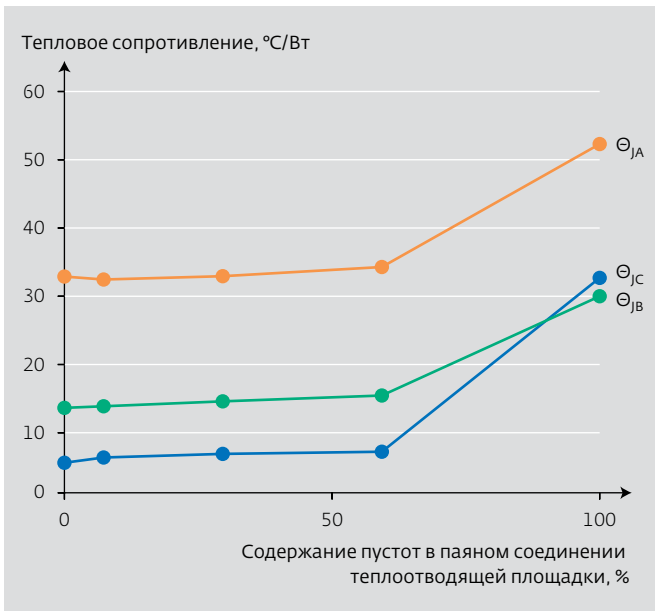


Рис. 11. Влияние пустот на тепловые характеристики: Θ_{JA} – тепловое сопротивление между поверхностью кристалла и окружающей средой; Θ_{JB} – тепловое сопротивление между поверхностью кристалла и платой; Θ_{JC} – тепловое сопротивление между поверхностью кристалла и поверхностью корпуса

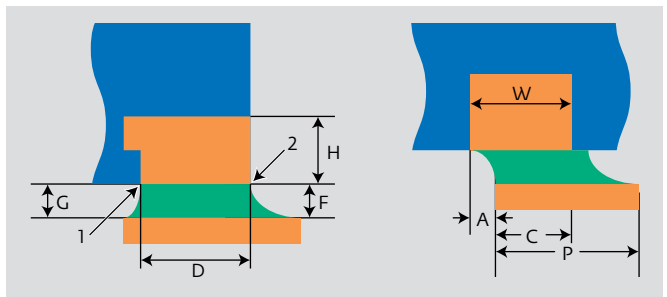


Рис.10. Условные обозначения параметров паяного соединения QFN (1 – пятка, 2 – торец)

контактные площадки (за исключением теплоотводящей площадки):

- отношение площади отверстия к площади стенок отверстия – более 0,66: $LW / (2T(L+W)) > 0,66$, где L – длина отверстия в трафарете, W – ширина отверстия в трафарете, T – толщина трафарета;

Таблица 3. Параметры профиля пайки оловянно-свинцовой и бессвинцовой паяльными пастами согласно IPC-7093

Параметр	Припой SnPb	Припой SAC
Температура солидуса припоя, °C	183	217–220
Температурный диапазон пайки припоем, °C	210–220	235–245
Минимальная пиковая температура пайки (в самой холодной точке платы) °C	205	230
Скорость нагрева компонента, °C/c	1–4	
Скорость охлаждения компонента, °C/c	2–4	
Температура предварительного нагрева, °C	100–180	140–220
Длительность предварительного нагрева, с	60–120	60–150
Время пребывания в расплавленном состоянии, с	60–90	
Максимальная выдержка при пиковой температуре, с	20	

- отношение ширины отверстия к толщине трафарета – более 1,5: $W/T > 1,5$;
- метод изготовления – лазерная резка с последующей электрополировкой;
- скругленные углы в отверстиях;
- толщина трафарета: при шаге выводов 0,5 мм и менее – 125 мкм, при большем шаге выводов – 150 мкм;
- ширина и длина отверстий равны ширине и длине контактных площадок. Отверстия могут быть уменьшены, если на компоненте контактные площадки не заходят на торцы корпуса, так как в этом случае уменьшается паяемая площадь.

В стандарте IPC-7525A детализуются требования к размерам отверстий в трафарете относительно размеров контактных площадок в зависимости от того, какая паяльная паста будет наноситься: оловянно-свинцовая или бессвинцовая. В первом случае при шаге выводов 0,4–1,3 мм рекомендуется уменьшать ширину отверстий (за исключением угловых) на 0,03–0,08 мм, а длину – на 0,05–0,13 мм относительно контактных площадок на плате. Во втором случае размеры отверстий (за исключением угловых) либо равны размерам контактных площадок на плате, либо только ширина отверстий уменьшается на 0,025 мм.

Таблица 4. Критерии качества паяных соединений компонентов с контактными площадками под корпусом согласно IPC-A-610E. Упрощенно можно считать, что к 1-му классу относятся изделия бытового назначения, к 2-му – промышленного, а к 3-му – спецтехника.

Параметр	Обозначение	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Максимальное боковое смещение	A	50% от ширины контактной площадки на компоненте (W), не приводит к нарушению минимального электрического зазора	25% ширины контактной площадки на компоненте (W), не приводит к нарушению минимального электрического зазора	
Торцевое смещение (внешней кромки вывода)	B	Не допускается		
Минимальная ширина галтели с торца	C	50% от ширины контактной площадки на компоненте (W)	75% от ширины контактной площадки на компоненте (W)	
Минимальная длина галтели сбоку	D	Параметр не определяется визуально		
Толщина галтели припоя	G	Наличие смачивания припоем		
Минимальная высота галтели с торца	F	Размеры не указаны либо могут изменяться; определяются конструкцией. На ряде компонентов отсутствуют паяемые контактные поверхности на торцах корпуса, наличие галтели с торца не требуется		
Высота контактной площадки	H	Высота паяемой контактной поверхности с торца корпуса компонента (если имеется)		
Покрытие припоем теплоотводящей площадки		Параметр не определяется визуально		
Ширина контактной площадки на плате	p	Размеры не указаны либо могут изменяться; определяются конструкцией		
Ширина контактной площадки на компоненте	W	Размеры не указаны либо могут изменяться; определяются конструкцией		
Содержание пустот в паяном соединении теплоотводящей площадки		Критерий должен оговариваться между производителем и заказчиком		

Ширина отверстий в трафарете для нанесения паяльной пасты на угловые контактные площадки должна в 1,25–1,5 раза превышать ширину контактных площадок. Это предотвращает поворот компонента при пайке.

Особый случай – отверстия для нанесения пасты на теплопроводящие контактные площадки. При больших размерах (>5 мм) теплоотводящей контактной площадки рекомендуется уменьшать площадь отверстий в трафарете до 50–80% от площади теплоотводящей площадки (рис.9). При этом следует избегать размещения отверстий в трафарете над переходными отверстиями в теплоотводящей контактной площадке во избежание прямого попадания пасты в переходные отверстия.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОФИЛЯМ ПАЙКИ

В качестве финишных покрытий контактов компонентов ВТС сейчас используется олово-свинец, золото, олово и палладий. Для качественной пайки важно выбрать паяльную пасту с припоем и флюсом, совместимыми с финишным

покрытием компонентов и плат. Типовые значения параметров профилей пайки оловянно-свинцовыми и бессвинцовыми припоями приведены в табл.3.

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Критерии качества паяных соединений устанавливаются стандартом IPC-A-610E. Что касается компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса, то фактически в стандарте приводятся конкретные требования только по боковому и торцевому смещениям, а также ширине галтели с торца (табл.4, рис.10). Максимально допустимое содержание пустот предлагается согласовывать между производителем и заказчиком.

Пустоты в паяном соединении потенциально могут ухудшать электрические и тепловые характеристики быстродействующих устройств (например, из-за увеличения пути тока), а также тепловых характеристик. Однако маловероятно, что на них может существенно повлиять наличие небольших распределенных пустот



Рис.12. Рентгеновский снимок паяного соединения компонента QFN. Боковое смещение (A) составляет примерно 1/3 ширины контактной площадки на корпусе (W). Дефект для изделий класса 2 и 3, допустимо для изделий класса 1

в паяном соединении. Стандарт IPC-7093 рекомендует, чтобы максимальный размер отдельной пустоты в паяном соединении теплопроводящей площадки не превышал шага между переходными отверстиями. Результаты теплового моделирования (рис.11), свидетельствуют о том, что наличие небольших пустот суммарной площадью до 50% от контактной площадки практически не сказывается на тепловых характеристиках.

Эффективным способом оценки качества паяных соединений компонентов в корпусах QFN, SON и LGA является рентгеновский контроль (рис.12-14). Снимки сделаны в технологическом центре ЗАО Предприятие Остек на системе рентгеновского контроля microme|x. На рис.12 показано смещение компонента, являющегося, в соответствии со стандартом IPC-A-610E, дефектом для изделий классов 2 и 3, но допустимым для изделий класса 1. Отсутствие припоя

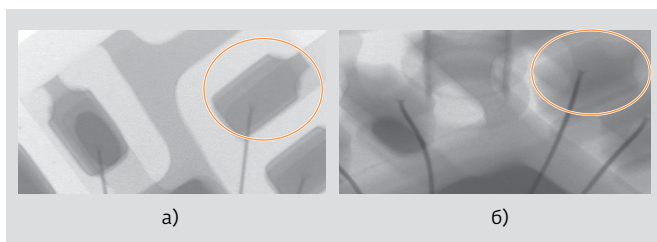


Рис.13. Отсутствие припоя: а) вид сверху; б) вид под углом (наклон детектора 55°)

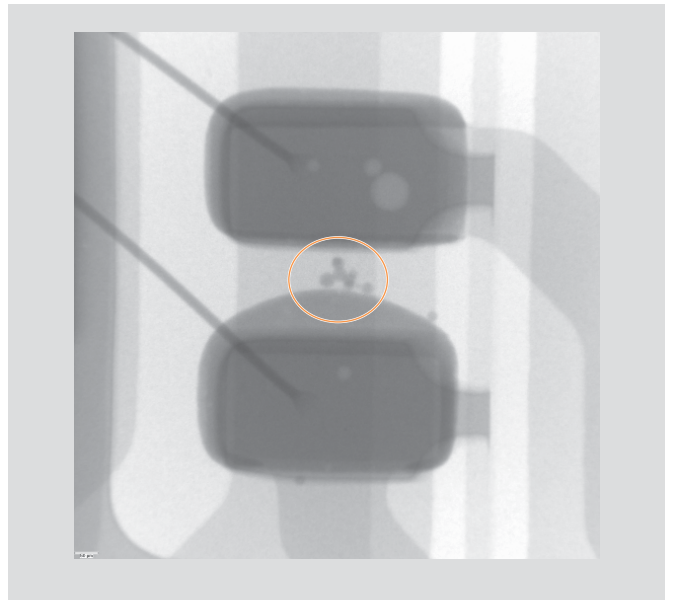


Рис.14. Рентгеновский снимок двух паяных соединений компонента в корпусе QFN с нарушением минимального электрического зазора

проиллюстрировано на рис.13: на правую контактную площадку не нанесена паяльная паста. Левое паяное соединение на этом снимке в соответствии с требованиями стандарта IPC-A-610E не является дефектом, несмотря на неполное растекание припоя по контактной площадке. На рис.14 продемонстрирован рентгеновский снимок двух паяных соединений с нарушением минимального электрического зазора. Избыточное количество припоя, а также шарики припоя нарушают минимальный электрический зазор, что является дефектом. По стандарту IPC-2221A минимальный электрический зазор составляет 130 мкм при напряжении не более 15 В.

Итак, мы затронули наиболее часто встречающиеся вопросы по применению компонентов в корпусах QFN, LGA, SON. Это лишь вершина айсберга актуальной информации, содержащейся в упомянутых стандартах IPC. Возможность приобретения стандартов IPC-A-610E и IPC-7525A на русском языке устраняет языковой барьер и делает эти стандарты доступнее. Для получения дополнительной информации по этим и другим стандартам и для приобретения стандартов можно обращаться в отдел технологических материалов ЗАО Предприятие Остек по тел. (495) 788-44-44 или по электронной почте materials@ostec-group.ru. Саннотациями и оглавлениями стандартов можно ознакомиться на нашем сайте: <http://www.ostec-smt.ru/standards>. ●