

Начальный курс производства электроники. Часть 6. Оформление заказа на изготовление печатных плат

В предыдущих статьях было представлено упрощенное описание процессов производства печатных плат (ПП) [1–6]. Настоящая глава предлагает примерный перечень требований к заказу. Он может быть расширен или сужен — главное, что он дает представление о тех вопросах, которые возникают при оформлении заказа.

Аркадий Медведев

При изготовлении ПП вступают во взаимодействие заказчик и производитель. И они должны хорошо понять друг друга, чтобы не возникло недоразумений ни в ходе изготовления ПП, ни при сдаче заказа клиенту, ни при последующем поведении плат на сборочно-монтажных операциях и при эксплуатации. Поэтому при заказе на изготовление ПП ставится задача — представить данные о плате в таком виде, чтобы у производителя не было потом вопросов к заказчику и не возникала необходимость в корректировке процесса в ходе изготовления из-за несвоевременного согласования всех требований к заказу. По крайней мере, заказчик должен иметь в виду, что эти вопросы неизбежно возникают при согласовании требований к изготавливаемым платам.

Первоначально заказчик отправляет производителю свой проект ПП как запрос на рассмотрение заказа. Производитель адаптирует проект ПП под возможности своего производства и получает подкорректированный его вариант, формируется окончательный проект на основе Gerber-формата данных [7, 8]. Параллельно создается и согласовывается спецификация на заказ для полноты необходимой информации о плате. Образец спецификации приведен в виде таблицы. Далее по пунктам разъяснены положения спецификации.

Базовая информация и стоимость (пт. 1–7)

Платы идентифицируются по названию компании-заказчика (п. 1) и своему номеру (коду) (п. 2). Параметрами, определяющими стоимость заказа, являются размер конкретного производственного заказа и его планируемый объем (п. 3), а также категория его применения: ответственного, промышленного, бытового.

В спецификации должно быть указано количество слоев (п. 4), размер платы (п. 5), ее толщина (п. 6) и форма контура (п. 7). Если форма контура позволяет «вставлять» их друг в друга на заготовке, то необ-

ходимо отметить это в спецификации и предложить эскиз размещения рабочих плат в поле заготовки.

Панелизация (п. 8)

Если существует необходимость в панелизации, следует запросить у производителя размеры заготовки (п. 8a) и предложить количество помещаемых на ней плат (п. 8b).

Учитывая, что клиент не всегда выбирает оптимальный вариант панелизации (а это приводит к увеличению стоимости заказа), размещение плат на заготовке следует предварительно обсудить с производителем. Для соответствия установочных размеров заготовки линиям сборки и тестирования заказчик должен указать максимальную ширину заготовки. Длина заготовки, как правило, затруднений не вызывает.

Проблемой может стать наличие на заготовке нескольких бракованных плат. Следует либо забраковать всю заготовку, либо лишь бракованные платы — для этого они должны быть четко помечены, чтобы при сборке станок распознал и пропустил их без использования.

Важно установить ограничения по количеству бракованных плат в партии — например, максимум 1–2 платы на заготовке и не более 5% от числа заготовок. Такие ограничения связаны с тем, что чем больше бракованных плат в партии, тем меньше гарантии хорошего качества остальных плат. Ограничения по браку следует согласовать с производителем.

Необходимо согласовать чертеж заготовки с указанием ширины и границ наносимых засечек, разделяющих ее на отдельные платы и отламываемые лишние области.

Пакет сверления (п. 9)

Чаще всего выбор количества заготовок в пакете предоставляется производителю. Количество плат в стопке сказывается, с одной стороны, на стоимо-

Таблица. Спецификация ПП (в мм и мкм)

1.	Название компании-заказчика	«Технотек Со.»
2.	Код изделия	1234-5
3.	Размер разового заказа/ годового заказа	500/5000
4.	Количество слоев	6
5.	Размер платы	200×300
6.	Толщина платы	1,6
7.	Форма платы	Прямоугольная
8.	Панелизация	Нет
8a	Размер заготовки, мм	По выбору производителя
8b	Количество плат на заготовке	По выбору производителя
9.	Пакет сверления	По выбору производителя
10.	Установленные значения импеданса	Нет
11.	Тест-купон	Нет
12.	Фрезерование контура	Оконтуривание
13.	Тип основания и UL-воспламеняемость	FR-4, UL 94V-0
14.	Изгиб и коробление: ≤%	1
15.	Внешние слои	
15a	Медная фольга, мкм	17,5 или 35
15b	Минимальная металлизация отверстий, мкм	25
16.	Внутренние слои	
16a	Медная фольга, мкм	35
16b	Медная фольга, мкм	18
17.	Финишные покрытия	
17a	Выравнивание припоя горячим воздухом (HAL)	Нет
17b	4 мкм Ni + 0,05–0,1 мкм Au (см. примечание)	Да
18.	Паяльные маски	
18a	Число сторон	2
18b	Жидкая фотополимерная пленка	Да
18c	СПФ	Нет

Примечание. Сверление крепежных отверстий производить в первую очередь с последующим их тентингом. Химический никель (4 мкм) + иммерсионное золото (0,05–0,1 мкм).

сти, с другой — на качестве плат. Поэтому при согласовании данного пункта приходится находить компромисс.

Платы с установленным значением импеданса (п. 10)

В тех случаях когда многослойные платы должны обладать определенным импедансом (волновым сопротивлением) линий связи, заказчик должен предложить проект платы, рассчитанный на достижение нужных параметров линий связи: межслойные дистанции между проводниками, диэлектрическую проницаемость слоев препрега и жестких оснований, по возможности — с указанием их типа и марки. Целесообразно также привести рисунок с видом поперечного сечения платы.

Тест-купоны (п. 11)

Очень немногие заказчики требуют наличия тест-купона. Необходимость в нем должна быть оговорена с производителем. Поскольку тест-купон обычно располагается за пределами платы (на технологическом поле), то из-за краевых эффектов его отверстия будут покрыты более толстым слоем меди, что создаст неверное представление о гальванике платы.

19.	Маркировка	Да
19a	Число сторон	1
19b	Цвет	Желтый
20.	Счищаемое масочное покрытие	Нет
21.	Угольная печать	Нет
22.	Сквозные металлизированные отверстия (при панелизации — для платы)	
22a	Общее количество	2480
22b	Минимальный диаметр, мм	0,25 (1200)
22c	Максимальный диаметр, мм	3,2
22d	Число различных диаметров	6
23.	Неметаллизированные сквозные отверстия (при панелизации — для платы)	
23a	Общее количество	20
23b	Минимальный диаметр, мм	1,2
23c	Максимальный диаметр, мм	4
23d	Число различных диаметров	3
23e	Панелизационные отверстия, количество/диаметр, мм (для панели)	
24.	Выпиливаемые отверстия, количество/диаметр, мм (для платы)	4/8
25.	Глухие отверстия, количество/диаметр, мм (для платы)	300/0,3 между 1–2 и 5–6 слоями
26.	Скрытые отверстия, количество/диаметр, мм (для платы)	
27.	Базовые отверстия платы, количество/диаметр, мм	2/3,2
28.	Базовые отверстия заготовки, количество/диаметр, мм	
29.	Монтаж платы	
29a	Поверхностный монтаж/количество паяемых контактных площадок	Да/2000, включая тестовые контакты
29b	Число сторон поверхностного монтажа	2
29c	Монтаж в отверстия/количество отверстий (для платы)	Да/2000

Если же тест-купон получился хорошего качества, это вовсе не означает, что и сама плата произведена качественно. Тем не менее при наличии некачественных отверстий и/или металлизации велика вероятность того, что плата плохая.

Фрезерование контура (п. 12)

Наиболее распространенным способом является оконтуривание (выпиливание контура), хотя в некоторых случаях может быть использовано и нанесение засечек по контуру платы — это обходится заказчику дешевле, однако тогда по краям плат остаются грубые остатки перемычек, удаляемые при необходимости шлифовкой.

Тип основания и воспламеняемость (п. 13)

Чаще всего основания изготавливают из материала FR-4 с воспламеняемостью 94V-0 [9]. Именно такие основания, с наиболее высокой воспламеняемостью, обычно имеются на складе производителя. С выбором же худшего материала (с воспламеняемостью 94V-1) стоимость заказа только возрастет, поскольку такие основания плат используются

30.	Концевой разъем	Да
30a	Минимальное покрытие Ni, мкм	4
30b	Минимальное покрытие Au, мкм	0,76
30c	Общая площадь покрытия Ni/Au, см ²	11,25
30d	Фаска концевой разъема	±20°
30e	Угол конуса концевой разъема	45°
30f	Направляющие пазы: количество/ширина, мм	2/1,6
31.	Параметры пайки	
31a	Пайка волной припоя	Да
31b	Составные ограничения параметров пайки	Нет
32.	Подписи	
32a	Логотип производителя и год/неделя изготовления	Да
32b	Код	Да
32c	Отметка о прохождении электрического теста	Нет
33.	Электрический тест	Да
34.	Автоматическая оптическая инспекция	Не требуется
35.	Минимальные показатели параметров рисунка ПП	
35a	Ширина проводников для внешних/внутренних слоев, мм	0,2/0,2
35b	Расстояние между краями проводников (зазор) для внешних/внутренних слоев, мм	0,2/0,2
35c	Ширина кольцевых ободков для внешних/внутренних слоев, мм	0,25/0,2
35d	Точность нанесения паяльной маски, мм	0,1
36.	Показатель качества	
36a	В соответствии с	ГОСТ 23752
36b	В соответствии с	системой качества компании

реже и, соответственно, их стоимость выше. Если в спецификации указан материал 94V-1, производитель может использовать 94V-0, при этом качество плат только улучшится.

Некоторые заказчики требуют изготовления экологически чистых ПП, которые после эксплуатации могут быть сожжены без образования токсичного дыма. В этих случаях в спецификации указываются базовые основания FR-4 без содержания PBB (полиброминиловые бифенилы) или PBBO (окиси полиброминиловых бифенилов).

Изгиб и коробление (п. 14)

Обычно устанавливают допуск 1%, однако в некоторых случаях, например при пайке компонентов BGA, требуется допуск 0,5%. Не все производители ПП способны гарантировать столь низкие значения изгиба плат. Нужно отметить, что зачастую причиной коробления является неправильно сбалансированная структура МПП [10].

Для сокрытия коробления некоторые производители осуществляют терморихтовку коробленных плат, однако с течением времени (в частности, при проведении пайки) все деформации вернутся.

Внешние слои (п. 15)

Медное покрытие внешних слоев (п. 15а): чем тоньше рисунок платы, тем сложнее при травлении соблюсти допуски размеров подтравливания его дорожек.

Для многослойных и двусторонних ПП в спецификации обычно указывают использование 18- и 35-мкм медной фольги, предоставляя выбор между ними производителю. Минимальную толщину медного покрытия стенок отверстий всегда устанавливают 25 мкм. С учетом же коэффициента рассеивания в ванне гальванического меднения на поверхность платы будет нанесено более 25 мкм меди, поэтому даже использование 18-мкм медной фольги даст общую толщину медного покрытия на проводниках минимум 40 мкм.

Внутренние слои (п. 16)

Для обеспечения хорошего электрического соединения стенок отверстий с контактными площадками на внутренних слоях многослойных ПП используют 35-мкм медную фольгу. Во избежание трудностей при травлении прецизионных рисунков внутренних слоев, в спецификации необходимо указать толщину используемой медной фольги 18 мкм.

Финишные покрытия (п. 17)

Важным параметром является качество поверхностей под пайку. В настоящее время чаще всего применяется облуживание контактных площадок с выравниванием припоя горячими воздушными ножами — струями горячего воздуха (п. 17а). Однако облуживание поверхности контактных площадок для ПП поверхностного монтажа неравномерно — с одного края контактной площадки толщина припоя может достигать 1–2 мкм, с другого — наплывы 40–50 мкм. При пайке плат это приводит к возникновению дефектов.

Многие проектировщики ПП, разрабатывающие платы со сложным рисунком, требуют нанесения финишного покрытия в виде химически осажденного никеля (Ni, 4 мкм) и иммерсионного золота (Au, 0,05–0,1 мкм). Это покрытие (п. 17б), обозначаемое ENIG, имеет абсолютно плоскую и гладкую поверхность контактных площадок. Поскольку при осаждении ENIG нет необходимости подвергать плату воздействию высоких температур, как при лужении, надежность плат с ENIG оказывается существенно выше.

Некоторые специалисты считают, что платы с никель-золотом (ENIG) обладают худшей паяемостью, однако они забывают, что время пайки ENIG должно быть на 50% больше времени пайки луженых плат.

Также следует учитывать возможность формирования покрытия никель-золото в виде очень тонкого слоя электрохимического золота и никеля, используемого в качестве металлорезиста. Такое покрытие оставляет края рисунка после травления вовсе непокрытыми — с «голой» медью. Такое покрытие может терять паяемость из-за коррозии меди и расплзания продуктов коррозии на поверхности, подлежащие пайке. Поэтому следует договариваться с производителями ПП по поводу способа нанесения покрытия никель-золото.

Паяльные маски (п. 18)

Нанесение паяльных масок обычно требует с обеих сторон (п. 18а). В настоящее время наиболее часто заказывают масочное покрытие на основе влажной фотополимерной композиции, называемой жидким фоторезистом (п. 18б).

Также некоторые компании указывают в спецификации необходимость тентинга переходных отверстий паяльной маской, однако в таких случаях они неверно используют терминологию. Тентинг отверстий выполняется исключительно при помощи сухого пленочного фоторезиста (СПФ). В остальных случаях следует говорить о заполнении переходных отверстий с гарантией лишь на 95% от их числа. Таким образом, часть отверстий останутся открытыми или с пузырями, создавая необходимость в специальном процессе их заполнения.

СПФ (п. 18с) в качестве паяльной маски (СПФЗ) в настоящее время используется редко; а для плат с поверхностным монтажом компонентов не используется вовсе. Причиной тому является его большая толщина — 50, 75 или 100 мкм, приводящая в ряде случаев к «повисанию» компонентов между контактными площадками. При пайке плат это может вызвать появление характерных дефектов.

Маркировка (п. 19)

Многие заказчики указывают необходимость маркировки плат, хотя большинство надписей впоследствии оказывается скрыто под компонентами. Автомат по сборке в маркировке не нуждается; потребность в ней возникает лишь при ручном монтаже компонентов и ремонте.

Количество сторон платы (п. 19а), на которые следует нанести маркировку, зависит от типа монтажа. В настоящее время компоненты чаще устанавливаются на две стороны платы. Для достижения хорошего контраста с материалом основания и масочным покрытием цвет краски (п. 19б) обычно выбирают белым или желтым.

Счищаемое масочное покрытие (п. 20)

Счищаемое масочное покрытие используется для доступа к регулируемым компонентам или для возможности их замены при настройке. Поэтому производителю ПП необходимо следить, чтобы масочное покрытие не было полностью отверждено и в нужных местах отделено или очищено. Иначе в последующих процессах сушки, предварительного нагрева и пайки оно окончательно затвердеет и станет трудно удаляемым.

Угольная печать (п. 21)

Угольная печать используется нечасто, однако на дешевых односторонних платах вместо формирования сквозных металлизированных отверстий поверх обычного рисунка и масочного покрытия могут быть нанесены угольные дорожки. Также угольная печать применяется в клавишных контактах клавиатур — в платах для мобильных телефонов и радио.

Сквозные металлизированные отверстия (п. 22)

Иногда бывает трудно определить, относится ли указанное в спецификации количество отверстий к отдельной плате или же ко всей заготовке. Правильным является указание количества отверстий для одной платы (22а). Также, учитывая, что в современных ПП поверхностного монтажа используются переходные отверстия маленького диаметра (например, 0,25 мм), целесообразно указать диаметр наименьших отверстий (п. 22б) и в скобках их количество на плате.

Отметим, что п. 22 предназначен только для стандартных двусторонних плат с диаметром отверстий не менее 0,25 мм.

Кроме того, бывает необходимо указывать местоположение отверстий с большим диаметром (п. 22с). В связи с ограничениями сверлильных станков пределом является диаметр около 5,3 мм, в некоторых случаях максимальный диаметр отверстий — 6,3 мм. Такие отверстия выполняют обработкой по кругу.

Важно указать и число используемых диаметров отверстий (п. 22д), поскольку время смены сверл учитывается при расчете стоимости заказа. Абсолютно нецелесообразно использование большой номенклатуры диаметров с малым дискретом значений (12–13 значений с дискретом по 0,1 мм). Если учесть допуски на диаметры отверстий (на 0,2–0,4 мм больше диаметра выводов компонентов), становится возможным сокращение номиналов диаметров, например, до 5. На надежности галтелей припоя это сказывается незначительно.

Неметаллизированные сквозные отверстия (п. 23)

Характеристики указываются аналогично п. 22. В спецификациях на заготовки платы, кроме того, должно быть учтено количество базовых отверстий по контурам плат (п. 23е), о чем иногда забывают. Если количество базовых отверстий не может быть указано для одной платы, указывается их количество для всей заготовки.

Иногда сверление неметаллизированных сквозных отверстий производят в первую очередь (перед теми, что подлежат металлизации), после чего выполняют их тентинг. При большом количестве неметаллизированных отверстий возникает опасность повреждения тентинга некоторых отверстий и, следовательно, их частичной металлизации. А поскольку провести проверку тентинга всех отверстий невозможно, то таким образом рекомендуется изготавливать лишь наиболее важные отверстия — например, крепежные. Все остальные неметаллизированные отверстия могут быть просверлены в последнюю очередь.

Выпиливаемые отверстия (п. 24)

Как было указано в п. 22с, высверливаемые отверстия имеют ограничения по диаметру. Поэтому в спецификации отдельно указывается количество и размеры выпиливаемых больших отверстий. В этом же пункте указываются просверливаемые прорези. В таких случаях целесообразно представить эскиз требуемых отверстий.

Глухие и скрытые переходные отверстия (п. 25–26)

Не все производители ПП способны обеспечить изготовление глухих (п. 25) переходных отверстий (обычно 0,25 мм). В спецификации указывается их количество и расположение (между какими слоями).

Некоторые заказчики предпочитают использование глухих переходных отверстий с медной «крышкой», располагаемых непосредственно под шариковыми выводами поверхностно монтируемых компонентов типа BGA.

Если же плата имеет микропереходные отверстия (например, 0,1 мм), то следует предварительно согласовать заказ с производителем, так как наличие микропереходов влияет на выбор диэлектрических материалов (FR-4, RCC или Thermount).

Большинство же производителей ПП предлагает лишь изготовление скрытых переходных отверстий (п. 26) из-за более простой их технологии. Аналогично в проекте должно быть указано их количество и расположение.

Базовые отверстия плат и заготовок (п. 27–28)

В спецификации должны быть отражены количество и диаметр базовых отверстий платы (п. 27). Указание их вместе с неметаллическими отверстиями (п. 23) неверно, поскольку сверление базовых отверстий выполняется в первом такте (вместе с будущими сквозными металлизированными отверстиями). Отдельно указывается количество и диаметр базовых отверстий всей заготовки (п. 28).

Монтаж платы (п. 29)

Для оценки стоимости электрических испытаний изготавливаемых плат необходимо указать, будет ли выполняться поверхностный монтаж компонентов (п. 29а). В том случае, если будет, следует уточнить количество паяемых и тестовых контактных площадок поверхностного монтажа. Очень часто в спецификациях не отражают количества паяемых контактных площадок. Нужно указать и число сторон платы (п. 29b) с поверхностным монтажом — в зависимости от него выбирается одно- или двустороннее тестовое оборудование. При наличии монтажа компонентов в отверстия необходимо также указать соответствующее количество тестовых контактных площадок (п. 29с).

Концевые разъемы (п. 30)

Поскольку концевые разъемы используются до сих пор, информация о них должна быть отражена в спецификации.

Для концевых разъемов обычно используют 4-мкм никелевое покрытие (Ni) под золото. Некоторые восточные производители ПП, однако, наносят лишь 2,5 мкм, поэтому в спецификации следует четко указать требуемую толщину (п. 30а). Что касается золота, то некоторые заказчики указывают требуемую его толщину 1,27 мкм (п. 30b), хотя большинство производителей использует лишь 0,76-мкм покрытие золотом (Au). Из-за высокой его стоимости следует заранее определить необходимость и целесообразность той

или иной выбираемой толщины покрытия. Определяющим фактором при принятии такого решения является характер окружающей среды, в которой будет функционировать изготавливаемая плата.

Так, для плат бытовых устройств лучше подходит 0,76-мкм покрытие золотом; для электроники же, рассчитанной на эксплуатацию в экстремальных условиях, применяют золотое покрытие толщиной 1,27–2 мкм.

В связи с тем, что стоимость золота высокая, в спецификации может быть приведена общая площадь платы, покрываемая никелем и золотом (п. 30с), — обычно в квадратных сантиметрах.

Для лучшей состыковки внешнего соединителя с концевым разъемом последний должен иметь фаску (п. 30d). Иногда вместо фаски указывают угол конуса (разная терминология). Этим понятием некоторые восточные производители определяют оконтуривание углов краевого разреза или его направляющих пазов под углом 45°. Указание в спецификации угла конуса может быть снабжено рисунком, отображающим места его расположения (п. 30е).

Наиболее широко применяются фаски с углом $\pm 45^\circ$, однако для компьютеров и аналогичных им устройств угол может быть более острым — например, $\pm 20^\circ$. Конус же обычно делают с углом 45° .

Также указывается количество и ширина направляющих пазов (п. 30f).

Параметры пайки (п. 31)

В большей части заказов указывают пайку +260 °С в течение 10–20 с (п. 31а). Эти значения, однако, не относятся к другим процессам нагрева ПП, таким как сушка, предварительный нагрев, термоотверждение адгезива или последующая ручная пайка.

Для соответствия всем требованиям пайки оплавлением и волной припоя плат поверхностного монтажа используют другой стандарт — составные ограничения параметров пайки (п. 31b). Другими словами, необходимость проверки производимых плат на наличие расслоений основания или отслоений меди после пайки отпадает.

Подписи (п. 32)

Большинство заказчиков требуют нанесения на ПП подписей. Обязательно наносится название компании-производителя (обычно в виде логотипа), а также дата изготовления — год/неделя (п. 32а). Для этого заказчик должен выделить и указать свободное место на ПП. Проще всего предусмотреть отдельную рамку рядом с маркировкой компонентов.

Если производимые платы будут проходить дополнительную проверку, об этом следует поставить в известность производителя, чтобы внутри той же рамки был напечатан соответствующий код (п. 32b). Для лучшего обнаружения подписей необходимо убедиться, что рамка не перекрыта компонентами: возможно, что при проверке плат понадобится показать код.

Что касается отметки о прохождении платой электрического теста (п. 32с), то заказчики этого требования в спецификации обычно

не указывают. Лишь немногие из них требуют данной отметки, иногда даже с предоставлением распечатки с результатами теста.

Электрический тест (п. 33)

Электрический тест должны проходить практически все многослойные ПП; тестирования же двусторонних плат не требуется — достаточно визуального контроля. Производитель ПП может предложить использование двух типов контактных приспособлений [11]. Тестирование плат поверхностного монтажа выполняется в двустороннем тестовом приспособлении, которое есть не у всех производителей. Для проверки сразу всей платы тестовое оборудование должно иметь достаточное количество тестовых штырей.

Автоматическая оптическая инспекция (АОИ) (п. 34)

Проверку внутренних слоев производитель обычно проводит с помощью АОИ. Использование АОИ для внешних слоев применяется при высокой сложности их рисунка — когда, например, ширина дорожек и расстояний между ними не превышает 0,15 мм. Для более крупного рисунка, тем не менее, применение АОИ тоже возможно, однако при этом увеличивается стоимость заказа.

Показатели параметров рисунка ПП (п. 35)

Данная информация позволяет производителю ПП определить сложность и стоимость выполнения заказа, но, несмотря на это, многие проектировщики ПП ее не указывают. Для многослойных плат параметры рисунков внутренних и внешних слоев приводить следует отдельно.

Большое значение имеет минимальная ширина проводников (п. 35а). При ее значениях свыше 0,15 мм стоимость заказа варьируется слабо, при значениях же менее 0,15 мм цена возрастает.

Таким же образом цена зависит и от расстояния между проводниками (п. 35b), пороговым здесь тоже является значение 0,15 мм. При проектировании рисунка платы необходимо учитывать тот факт, что производителю проще изготовить ПП с большим расстоянием между проводниками, даже при малой их ширине.

Для снижения издержек производителя, связанных с опасностью повреждения в процессах сверления и травления кольцевых ободков, необходимо указывать минимальную их ширину (п. 35с). Предпочтительно, чтобы ширина кольцевых ободков превышала 0,20–0,25 мм. Для предотвращения их повреждения некоторые производители предлагают использование в местах контакта проводников с контактными площадками их удлинение [12].

В тех случаях, когда выполнение требований по ширине кольцевых ободков невозможно, заказчику приходится платить за усложнение производственного процесса — так как единственным способом соблюдения указанных в спецификации параметров является, в частности, уменьшение производителем количества одновременно просверливаемых в стопке ПП.

Точность нанесения паяльной маски (п. 35d) должна быть около 0,1 мм относительно соответствующих паяемых элементов рисунка, чтобы не произошло их перекрытия.

Показатели качества (п. 36)

Выбор показателя качества согласовывается заказчиком и производителем таким образом, чтобы минимизировать вероятность брака продукции. Данный показатель обычно выбирают в соответствии с ГОСТом либо с системой качества компании (п. 36а).

Иногда бывает необходимо указание допустимых значений уровня качества для больших и малых дефектов (п. 36б).

Примечания

Чаще всего в заключительной части спецификации следует примечание: сверление базовых отверстий для точности их положения относительно рисунка платы производить в первую очередь.

В примечаниях могут быть приведены и другие требования, такие как толщина никеля-золота. ■■■

Литература

1. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть 4. Односторонние гибкие печатные платы. Процессы изготовления // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 7.
2. Медведев А. Иллюстрированная технология печатных плат. Двусторонние печатные платы с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 1.
3. Медведев А., Арсентьев С. Иллюстрированная технология печатных плат. Изготовление односторонних печатных плат. Часть 2 // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 2.
4. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть 3-бис. Подробнее о многослойных печатных платах // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 4.
5. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть 3. Многослойные печатные платы // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 5.
6. Медведев А., Сержантов А. Начальный курс производства электроники. Часть 5. Гибко-жесткие печатные платы. Процессы изготовления // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 5, 8.
7. Соколов В. Программа САМ350 (уроки пользования) // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 1–8.
8. Медведев А. Цифровые технологии в производстве печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 5.
9. Медведев А., Можаров В. Испытания базовых материалов печатных плат // Производство электроники. 2011. № 6.
10. Медведев А., Мылов Г. Печатные платы. Причины коробления // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 2.
11. Медведев А. Электрическое тестирование печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 2.
12. Медведев А., Можаров В. Размерная стабильность слоев прецизионных многослойных печатных плат // Печатный монтаж. 2011. № 4.