

КОГДА ДЕЛО НЕ В ПЛАТЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГОВ

СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО

ПРОИЗВОДСТВА

А.Медведев, д.т.н.¹

УДК 658.512
ВАК 05.27.06

Постоянно растущая плотность компоновки электронной аппаратуры диктует ужесточение требований к точности изготовления печатных плат (ПП). На решение этой задачи работают специалисты всех отраслей, задействованных в производстве ПП: индустрии базовых и технологических материалов, химических компаний, фирм – производителей фотолитографического оборудования, станков для механической обработки и т.д. В результате их усилий свойства ПП, их устойчивость к внешним воздействиям постоянно растут, однако зачастую эффект от этих усилий значительно снижается или даже сводится на нет из-за ошибок, допускаемых на этапе сборки электронных устройств.

Так уж сложилось, что автор половину своего рабочего времени консультирует предприятия по всей России, разбирая неурядицы, возникающие в производстве электроники. К данному моменту выявились наиболее часто встречающиеся коллизии, и появилась возможность их систематизировать и обсудить.

Характерно, что все дефекты, возникающие при монтаже, зачастую списывают на платы, на качество их изготовления. Эту несправедливость мы постараемся устранить, сообщив технологам сборочно-монтажных цехов простые рекомендации, которыми они должны руководствоваться в производстве печатных узлов и блоков. Эти рекомендации действительно просты, но практика показывает, что именно ими часто пренебрегают – с самыми

неприятными последствиями в части затрат труда и времени, ресурса оборудования, расхода материалов и комплектующих и в целом для эффективности сборочного производства.

УПАКОВКА И СУШКА

Тип упаковки, предписанный стандартами на печатные платы [1–6], должен соответствовать категории КУ-3А. И нужно помнить, что ПП так же чувствительны к влаге, как и корпуса электронных компонентов. Но с электронными компонентами привыкли обращаться бережно: стараются поддерживать их в сухом состоянии, чтобы избежать, в частности, "эффекта попкорна" [7]. По отношению к печатным платам этим, как правило, пренебрегают. В результате в них накапливается влага, которая при пайке взрывается, что приводит к расслоению композиционного основания плат (рис.1) [8]. Поэтому ПП,

¹ medvedevam@bk.ru.

так же как и электронные компоненты, должны поддерживаться сухими, для чего они до поступления в сборочно-монтажную линию должны храниться в шкафах сухого хранения с влажностью не более 5%. После транспортировки ПП при низких температурах их распаковку следует проводить после предварительной выдержки в отапливаемом помещении не менее 4 ч, чтобы избежать выпадения конденсата из окружающей атмосферы с последующим перемещением его в объем платы.

Заметное увлажнение материала плат начинается уже при влажности среды 80%. Изначально влагопоглощение идет за счет обычного проникновения влаги в объем основания ПП через капилляры и межмолекулярные полости. В дальнейшем процесс ускоряется за счет гидролиза связующего. Именно процесс гидролиза наиболее опасен с точки зрения расслоения: при резком нагреве во время пайки гидратированные ячейки взрываются, создавая многочисленные "оспины" в объеме и на поверхности оснований ПП. Точно так же сорбционно связанная капиллярная влага при нагреве быстро вскипает, отделяя структуру стеклоткани от связующего. Интенсивность этого процесса можно проиллюстрировать простым расчетом на основе законов Авогадро и Бойля – Мариотта; он показывает, что из основания платы массой 150 г, изготовленной из материала с влагопоглощением 0,3%, при температуре пайки 240 °С выделяется 1 л горячего пара.

Гидратированная влага легко выделяется при пайке, но при сушке она с трудом покидает объем материала. Поэтому, чтобы предотвратить процессы гидролиза, лучше не рассчитывать на последующую сушку, а вообще не допускать увлажнения плат.

Для многослойных ПП, в структуре которых используют значительные массивы фольги на внутренних слоях земли и питания, актуален дополнительный фактор. Здесь интенсивно выделяющийся пар, встречая сопротивление фольги, которое он не может преодолеть, не успевает рассосаться и распирает слои, вызывая расслоение. Часто это явление сопровождается короблением плат, обнаруживаемым после пайки.

Остановимся подробнее на режиме сушки.

Температура. Очевидно, чем выше температура сушки, тем быстрее протекает процесс и тем надежнее достигается результат. Но она ограничивается температурой стеклования материала основания ПП – T_g . Сегодня большая часть ПП изготавливается из стеклоэпоксидных композиций с T_g порядка 135–140 °С. Метрологические погрешности поддержания температуры в сушильном шкафу и неизбежное неравномерное распределение температур по его объему заставляют ограничивать температуру сушки максимальным значением 120 °С, что позволяет гарантированно предотвратить искажение плоскостности оснований плат.

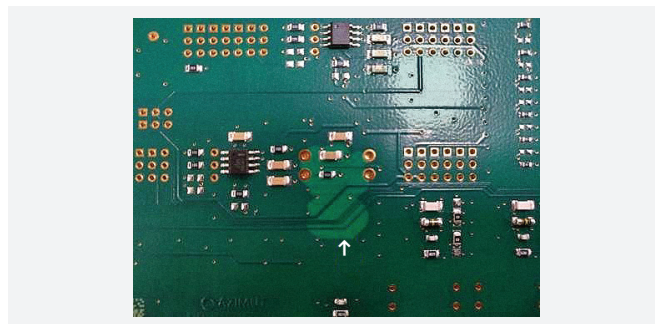


Рис.1. Вспучивание (расслоение) печатной платы в результате интенсивного (взрывного) испарения влаги при групповом нагреве во время пайки оплавлением

Снизу температура сушки ограничена тепловой энергией, необходимой для разрыва связей гидролизной влаги с полимерной цепью связующего. Она больше, чем температура кипения воды.

Время сушки определяется несколькими процессами. Влага в композиционных материалах имеет различные формы, отличающиеся прочностью связей. При сушке энергия нагрева и диффузионные процессы, стимулированные нагревом, должны разрывать эти связи и удалять определенную долю влаги из объема. Эта доля существенно зависит от соотношения прочности различных видов связи влаги с макро- и микроструктурой материала и энергией, подведенной к последнему при сушке. Наиболее полная классификация форм связи влаги с материалом приводится в теории сушки [8, 9].

На времени сушки сказываются также механизмы перемещения влаги в материале. Они определяются законами диффузии (молекулярное перемещение), законом капиллярного течения (молярное движение) и механизмом проталкивания влаги нагревающимся воздухом в капиллярах. Если сушка основания происходит путем нагрева окружающим воздухом (конвекционная сушка), то влага сначала начинает двигаться от поверхности вглубь материала – впереди теплового потока внутрь основания в еще не прогретый объем. Затем, при выравнивании температуры по всему объему основания, вступает в силу механизм перемещения влаги под воздействием появляющегося градиента ее концентрации внутри основания от центра объема к поверхности. Только с этого момента начинается испарение влаги в окружающую среду. При ограниченном времени сушки влага не успевает подойти к поверхности, чтобы начался процесс испарения.

Если сушка организована так, что поглощение энергии и, соответственно, нагрев происходит по всему объему основания (ИК- или СВЧ-нагрев), то влага под воздействием теплового потока сразу начинает передвигаться

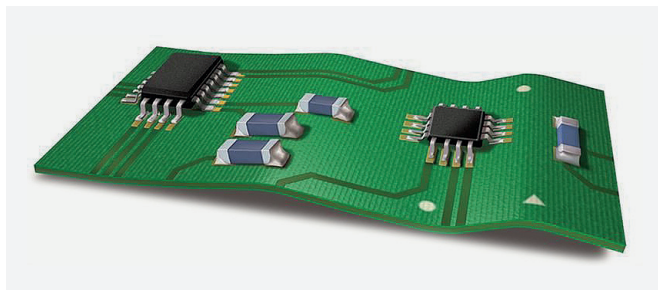


Рис.2. Коробление печатной платы

из объема к поверхности основания, откуда испаряется в окружающую атмосферу.

Количество испарившейся влаги прямо пропорционально разности парциальных давлений пара испаряющейся жидкости у поверхности и в окружающей среде, времени, интенсивности диффузии влаги из объема основания к поверхности и площади поверхности испарения.

Рекомендация. Платы перед использованием необходимо сушить при температуре 120 °С в течение 4 ч, а задел сухих плат помещать в шкаф сухого хранения.

КОРОБЛЕНИЕ

Коробление ПП – это нарушение ее плоскостности (рис.2). Все ПП в той или иной мере имеют изгиб [2, 6, 10]; особенно это характерно для несимметричных конструкций слоев многослойных ПП или ортогональной разводки проводников двусторонних ПП [10]. Поэтому даже по международным стандартам [11] допускается максимальное значение изгиба и скручивания 0,75% для плат с использованием технологии поверхностного монтажа компонентов и 1,5% для плат, используемых для всех других технологий монтажа. Но это не значит, что при сборке это разрешенное коробление можно игнорировать. Если компонент, имеющий значительную длину, будет смонтирован на коробленную плату, то при

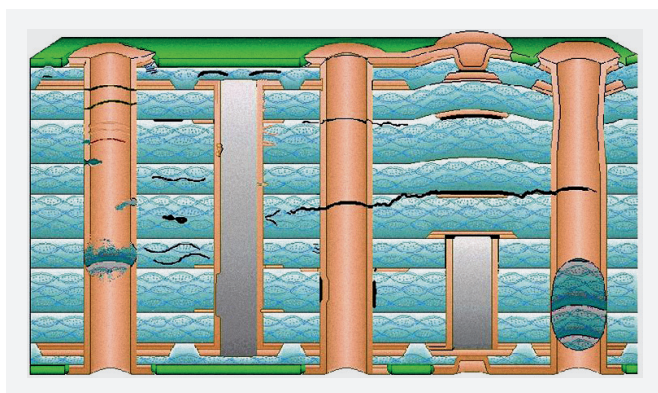


Рис.4. Схематическое изображение разрушения межсоединений вследствие чрезмерного нагрева при пайке

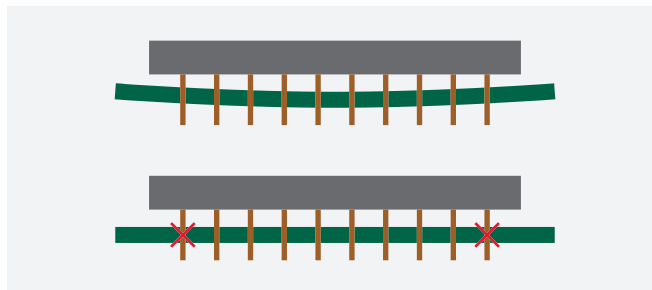


Рис.3. Выпрямление смонтированной коробленной платы приводит к разрушению соединений. Крестиком помечены разрушенные соединения

установке ее в корпус прибора, когда она будет выпрямлена усилием элементов крепежа, на выводах этого компонента возникнут значительные напряжения, которые могут привести к разрушению паяного соединения – как на поверхности платы, так и внутри металлизированного отверстия при монтаже компонентов со штыревыми выводами (рис.3). Поэтому перед передачей ПП на монтаж компонентов ее нужно с использованием соответствующих приспособлений выправлять в плоскость – тогда после установки в корпус напряжения на выводах компонентов, если и будут, то незначительные, не приводящие к разрушениям.

Рекомендация. Платы перед монтажом должны быть выпрямлены в плоскость в соответствующих технологических приспособлениях.

ПЕРЕГРЕВ ПРИ ПАЙКЕ

Разница в температурных коэффициентах расширения (ТКР) меди и композиционного диэлектрического основания настолько велика (табл.1), что при перегреве металлизация может рваться (рис.4). В многослойных ПП разница в ТКР может разрушать внутренние соединения (рис.5) [12].

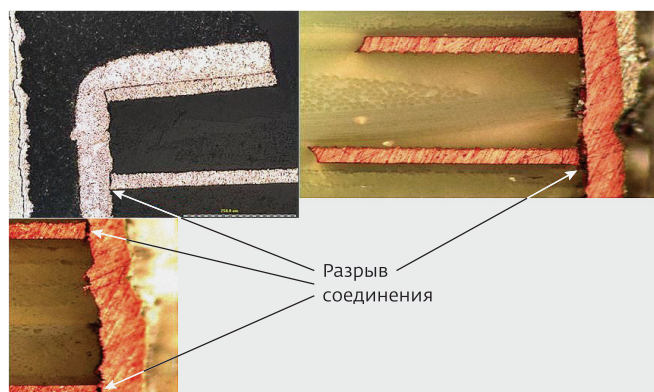


Рис.5. Реальная картина разрушения соединений в результате перегрева в процессе пайки [13]

Таблица 1. Расширение основания платы по оси Z при температурах пайки 240 °С

Наименование материала	T_g , °С (ТМА),	Коэффициент расширения по оси Z, ppm/°С		Толщина платы, по оси Z, мм	Расширение платы по оси Z, мкм
		до T_g	после T_g		
FR-4	135	60	300	2,5	12
FR-5	170	40	200	2,5	7

Кроме того, при перегреве быстро образуются интерметаллические соединения между пайкой и медью проводников ПП (табл.2) [14]. Они приводят к потере паяемости, а в дальнейшем к разрушению паяных соединений.

Рекомендация. Температура пайки не должна превышать 240 °С при использовании оловянно-свинцовых припоев (характерны для аппаратуры ответственного применения) и 260 °С для бессвинцовых припоев (получают распространение в бытовой аппаратуре).

НЕФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ

Зачастую при проектировании многослойных ПП на внутренних слоях вводят нефункциональные контактные площадки. Об их пользе или вреде в мире до сих пор идут дискуссии [15, 16]. В объеме многослойной ПП они работают как мощные радиаторы, мешающие прогреву металлизированных отверстий до температур пайки. Сталкиваясь с этим явлением, некоторые технологи, вместо того чтобы разобраться в причине отсутствия нормальной паяемости, повышают температуру в профиле пайки до запредельных величин (в одном из случаев – до 350 °С). Но и это не помогает: горит флюс, образуются интерметаллиды – а пайка не получается.

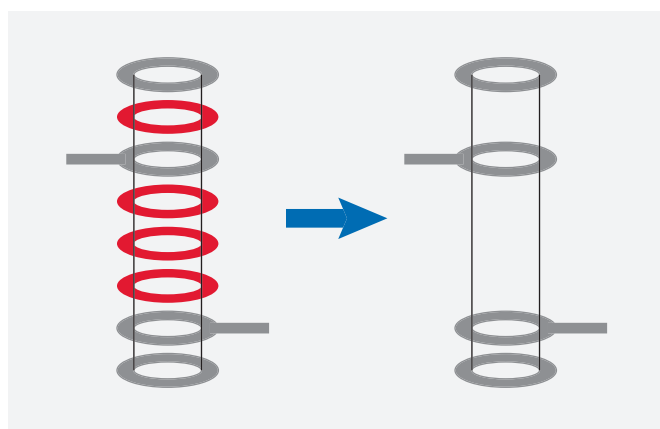


Рис.6. Нефункциональные контактные площадки выделены красным цветом. Их удаление улучшает условия пайки

В этом случае действительно виноваты ПП, но не технологии и не производство завода, где их изготовили, а конструкторы, спроектировавшие ПП, и непродуманная подготовка производства, допустившая наличие нефункциональных контактных площадок на внутренних слоях МПП [16].

Рекомендации. При проектировании не использовать нефункциональные контактные площадки на внутренних слоях МПП, а при подготовке производства удалять их из проекта (рис.6).

ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Чистота поверхностей ПП является главным условием предотвращения отказов электрохимического происхождения [17]. Поэтому платы после монтажа подлежат обязательной отмывке. Отмывка – процесс "громоздкий", не очень удобный в автоматизированном производстве, и некоторые производители соблазняются рекламой использования флюсов, "не требующих отмывки". При этом забывается, что истинное назначение флюса – активировать поверхность за счет растворения окисных

Таблица 2. Скорость роста толщины слоя интерметаллидов Sn_xCu_y в зависимости от температуры

Температура	Скорость роста слоя интерметаллидов Sn_xCu_y
20 °С	1 мкм за 2,5 года
40 °С	1 мкм в год
80 °С	1 мкм в месяц
140 °С	1 мкм в день
190 °С	1 мкм в час
260 °С	1 мкм в минуту
330 °С	1 мкм в секунду

пленок и загрязнений; но это означает, что флюс непременно сам загрязняется в процессе пайки и поэтому требует обязательной отмывки. Особенно это актуально для печатных узлов, подлежащих покрытию лаком для влагозащиты. Оставшиеся на поверхности платы загрязнения провоцируют осмотические процессы отслаивания лака в виде пузырей.

Следует помнить, что промывочные смеси не должны содержать посторонних растворителей типа ацетона (для замены спирта) и других компонентов, растворяющих материал платы и смывающих маркировку с компонентов.

Рекомендация. Платы после монтажа нужно отмывать не только от остатков флюса, но и других загрязнений, неизбежно присутствующих в производстве. При этом обязателен и контроль качества отмывки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные здесь примеры и рекомендации охватывают лишь часть того, что встречается в практике производства. Автор готов отвечать на вопросы технологов и конструкторов по указанному адресу электронной почты, и затем, по мере накопления информации, опубликовывать наиболее типичные, а также наиболее интересные случаи производственных затруднений подобного рода.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные требования к конструкции.
- ГОСТ Р 53432-2009. Платы печатные. Общие технические требования.
- ГОСТ Р 54849-2011. Маска паяльная защитная.
- ГОСТ Р 55490-2013. Платы печатные. Общие технические требования к изготовлению и приемке.
- ГОСТ Р 55744-2013. Платы печатные. Методы испытаний физических параметров.
- ГОСТ Р 55693-2013. Платы печатные жесткие. Технические требования.
- IPC/JEDEC J-STD-020D. Классификация чувствительности к влажности/пайке для негерметичных твердотельных компонентов поверхностного монтажа.
- Медведев А. М., Сержантов А. М.** Кинетика влагонабора композиционных материалов // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 4. С. 69–73.
- Лыков А.** Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. 278 с.
- Медведев А. М., Мылов Г. В.** Печатные платы. Причины коробления // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 2. С. 46–48.
- IPC-2221A. Общий стандарт на проектирование печатных плат.
- Медведев А. М., Мылов Г. В.** Надежность электрических межсоединений в электронных сборках авионики // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 9. С. 12–18.
- <http://www.ncabgroup.com>
- Медведев А. М.** Сборка и монтаж печатных узлов. – М.: ТЕХНОСФЕРА. 2007. 256 с.
- Caswell G., Tulkoff C.** NON-FUNCTIONAL PADS: SHOULD THEY STAY OR SHOULD THEY GO? – <http://wiki.fed.de/images>
- Можаров В., Хомутская О.** Влияние нефункциональных контактных площадок на различные характеристики печатных плат // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2017. № 3. С. 166–176.
- Медведев А.** Печатные платы. Электрохимические процессы деградации изоляции // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 1. С. 16–19.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 250 руб.

СБОРКА И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

А. Медведев

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2007. — 256 с.,
ISBN 978-5-94836-131-4

Предлагаемая книга написана по материалам зарубежной периодической печати, международных конференций и, что особенно ценно, по результатам опыта работы таких высокотехнологичных предприятий отрасли, как LVS, Fastwel, МЭЛЗ, "Альтоника" и др.

Книга посвящена описанию процессов, материалов и оборудования, используемых в сборочно-монтажном производстве, и предназначена для начинающих специалистов в этой области технологий, преподавателей и студентов технических вузов по специальности "Конструирование и технология производства электронной аппаратуры". Надеемся, что опытным специалистам она поможет в обучении персонала.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru