

РЕПЕРНЫЕ ЗНАКИ, КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ УСПЕШНОГО ДИЗАЙНА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Владимир Пивненко
заместитель Директора ДП “ЭКРАН” ОАО “ЧеЗарь”
e-mail: vpivnenko@ua-ekran.com

ВВЕДЕНИЕ

Электроника – это, на данный момент, пожалуй, самая динамично развивающаяся отрасль, являющаяся зеркалом современного научно технического прогресса и занимающая всё больше сегментов современного рынка. Поэтому к процессу разработки и производства изделий электроники с каждым днём предъявляются все более жесткие требования. Стремительно обновляется элементная база, появляются новые технологические материалы, применяются новые технологии монтажа изделий, однако некоторые фундаментальные принципы и элементы дизайна изделий электроники остаются неизменными. Одним из них является построение и оптимизация дизайна изделий с точки зрения производства (DFM – Design For Manufacturing) и в частности автоматизированной сборки (DFA – Design For Assembly). В данной статье рассматривается один из основных элементов оптимизации дизайна печатных узлов под автоматизированный монтаж, такой как реперные знаки.

Принципы автоматизированной установки компонентов

Сначала рассмотрим основные принципы автоматизированного поверхностного монтажа печатных узлов, в частности автоматизированной установки компонентов на поверхность печатной платы. В настоящее время для установки компонентов применяется огромная номенклатура автоматизированного технологического оборудования, различающегося как по производительности, так и по принципу построения. Однако абсолютно все автоматизированные установки глобально используют одинаковый принцип работы, состоящий из следующих этапов: загрузка печатной платы в автомат, механическая фиксация платы в автомате, совмещение систем координат автомата и печатной платы, непосредственно установка компонентов на поверхность платы, выгрузка печатной платы из автомата. Цикл установки каждого компонента состоит из подъёма компонента из соответствующего питателя и установки на поверхность печатной платы в точку с уникальными координатами по горизонтали (X), вертикали (Y) и углу поворота (Θ). Каждый автомат-установщик имеет свою, статическую систему координат, в которой и происходит позиционирование компонентов при их установке. Началом отсчёта в данной системе является так называемый «механический «0»», являющийся для автомата абсолютной величиной, которая задаётся при его калибровке. Каждая печатная плата имеет свою систему координат и, для точного позиционирования компонентов относительно топологии платы, установка компонентов должна выполняться именно в этой системе. При загрузке печатной платы в автомат-установщик и последующей её механической фиксации должно быть обеспечено точное совпадение системы координат автомата и системы координат печатной платы (Рис. 1). Первым

способом, применяющимся для совмещения систем координат, является точная механическая фиксация платы в автомате с применением базовых отверстий (Tooling Holes). В этом случае в печатной плате (в строго регламентированных местах) выполняются отверстия, а в автомате-установщике присутствуют механические фиксаторы, соответствующие этим отверстиям и имеющие жесткую привязку к механическому «0» автомата. При фиксации платы в автомате происходит механическое совмещение координатных систем платы и автомата.

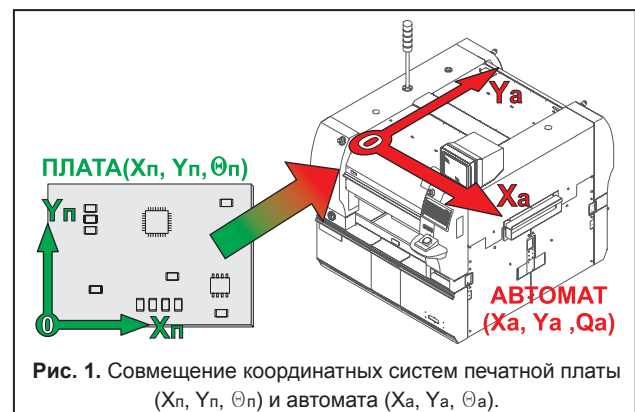


Рис. 1. Совмещение координатных систем печатной платы (X_p, Y_p, Θ_p) и автомата (X_a, Y_a, Θ_a).

Данная система используется в основном автоматами старых поколений и имеет один большой недостаток, - точность совмещения систем координат, а следовательно и точность позиционирования компонентов зависит от точности расположения базовых отверстий на плате и состоянием механических фиксаторов автомата. Погрешность совмещения в данном случае может достигать порядка нескольких десятых долей миллиметра, что недопустимо при позиционировании современных компонентов (пассивных компонентов типоразмера меньше чем 0603 или интегральных схем с малым шагом выводов).

Для обеспечения высокой точности совмещения координатных систем автомата и печатной платы необходимо выполнение двух условий:

- совмещение не должно быть механическим
- базовые элементы печатной платы, используемые при совмещении должны быть частью топологии проводников (и соответственно контактных площадок), т. е. выполнены в одном с ними технологическом процессе при изготовлении печатной платы.

Таковыми элементами и являются реперные знаки.

Что такое реперный знак?

Понятие «Реперный Знак» регламентировано Ассоциацией Производителей Оборудования Поверхностного Монтажа (SMTA) в стандарте «SMTA Fiducial Mark Standard»:

Реперный знак (Fiducial Mark) – это элемент (или

элементы) топологии печатной платы, который создаётся при помощи одного и того же процесса, что и рисунок проводников, и который предоставляет общую измеримую точку, используемую при позиционировании компонента относительно посадочного места при его установке.

Другими словами реперный знак представляет собой некий элемент топологии проводников печатной платы, использующийся как базовый при позиционировании компонентов в процессе их установки.

Практически во всем современном технологическом оборудовании используются системы оптического обнаружения и контроля как компонентов при их установке, так и реперных знаков. Этот факт в основном и определяет требования к реперному знаку: он должен быть легко распознаваем автоматизированными системами визуализации на любом технологическом оборудовании, легко отличимым от других элементов топологии и располагаться на плате таким образом, чтобы быть видимым на любом этапе автоматизированного поверхностного монтажа.

При использовании автоматизированных систем визуализации алгоритм совмещения систем координат печатной платы и автомата такой: плата загружается в автомат, происходит ее механическая фиксация. Затем система визуализации ищет реперные знаки (Рис. 2) с заранее определённым расположением в системе координат автомата (с учётом допуска на погрешность механической фиксации). Определяются реальные координаты найденных реперных знаков, происходит вычисление разницы ожидаемых и реальных координат реперных знаков. Затем осуществляется математическое сведение систем координат автомата и платы (фактически для каждого компонента вычисляется и вносится поправка по координатам X , Y , Θ)

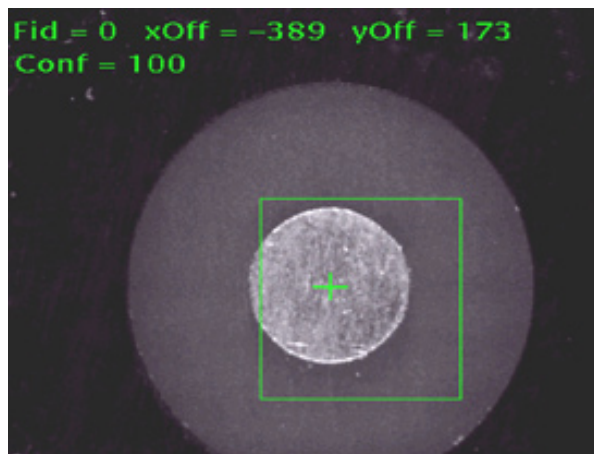


Рис. 2. Пример распознавания реперного знака автоматизированной системой визуализации автомата-установщика

Несмотря на то, что в индустрии могут применяться реперные знаки различной формы (Рис. 3) единственным предпочтительным и универсальным исполнением реперного знака является круглая немаскируемая контактная площадка диаметром от 1 до 3 мм (Рис. 4). Вокруг реперного знака должна быть выполнена свободная от прочих элементов топологии или маркировки зона диаметром равным двум-

трем диаметрам реперного знака. Диаметр окна в паяльной маске вокруг реперного знака так же должен быть не менее двух-трех диаметров реперного знака.



Рис. 3. Примеры встречающихся форм реперных знаков (не рекомендованы к применению)

Так же следует обратить внимание на тот факт, что в многослойных платах, рисунок печатных проводников внутренних слоев может «просвечиваться» через тонкий слой базового материала (стеклотекстолита) в свободной зоне вокруг реперного знака, что, при определенных условиях, может привести к снижению надежности его распознавания. Поэтому рекомендуется избегать размещения отдельных проводников во внутренних приповерхностных слоях многослойных ПП в пределах свободной зоны вокруг реперного знака.

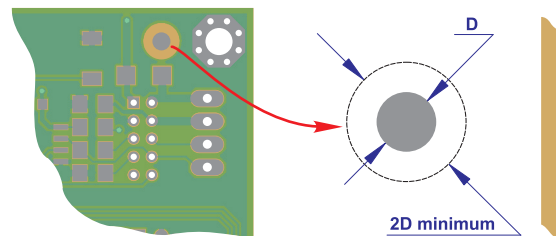


Рис. 4. Предпочтительное исполнения реперного знака

Следующим, после круглой формы, фактором, обеспечивающим оптимальную распознаваемость реперного знака, является материал финишного покрытия, его толщина и плоскостность. Как правило, финишное покрытие реперного знака выполняется в одном технологическом процессе с остальными контактными площадками, поэтому данному этапу так же стоит уделить внимание.

Регламентируемые в SMEMA Fiducial Mark Standard параметры финишного покрытия реперных знаков приведены в таблице 1. Из приведённых в данной таблице параметров наиболее критическим является плоскостность (неравномерность) финишного покрытия, так как она очень сильно сказывается на надежности распознавания реперных знаков автоматизированными системами визуализации (особенно на оборудовании старых поколений).

Еще одним фактором, влияющим на распознаваемость реперного знака, является выбор базового материала печатной платы (вернее его цвета). Основное требование в этом случае - обеспечение максимального контраста финишного покрытия реперного знака на фоне базового материала платы. В случае многослойных печатных плат наличие или отсутствие медного полигона в приповерхностном внутреннем слое в пределах свободной зоны реперного знака может привести к изменению цвета базового материала. Так же рекомендуется обеспечить однородный и одинаковый фон для всех реперных знаков расположенных на одной плате. Это значит, что если

Таблица 1. Рекомендуемые параметры финишных покрытий реперных знаков

Материал финишного покрытия	<ul style="list-style-type: none"> - органический консервант по «голой» меди (OSP) - химическое олово, серебро - иммерсионное золото по никелю (ENIG) - горячее лужение припоем (HASL)
Рекомендуемая толщина «голой» меди в случае применения OSP, или конечная толщина меди с химическим покрытием оловом, серебром и т.п.	0,005 – 0,01 мм
Максимальная толщина меди с покрытием HASL	0,025 мм
Плоскостность финишного покрытия	±0,015 мм

во внутреннем слое в пределах свободной зоны одного из реперных знаков присутствует сплошной медный полигон, он должен присутствовать и под остальными реперными знаками. Или наоборот - если нет меди во внутренних слоях под одним из реперных знаков – её не должно быть и под остальными.

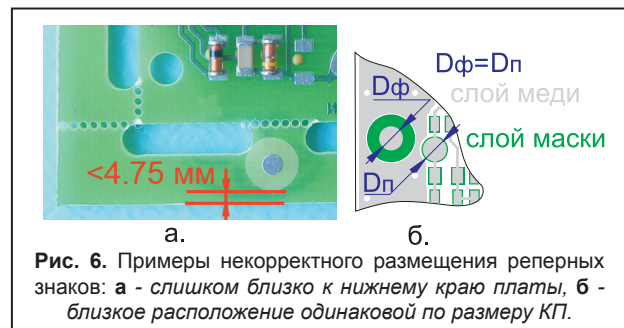
Расположение реперных знаков.

Для обеспечения максимальной точности установки компонентов необходимо размещать реперные знаки на максимально возможном расстоянии друг от друга. Это объясняется простыми правилами линейной геометрии – при одинаковой погрешности определения координат двух точек, чем больше рассеяние между точками, тем меньше отклонение по углу прямой, проходящей через эти точки. Как правило, для плат прямоугольной формы, реперные знаки размещаются в диагонально противоположных углах печатной платы. Следует помнить, что минимальное расстояние от края печатной платы (или панели печатных плат) до реперного знака должно быть не меньше суммы ширины технологической зоны ПП (4,75мм) и ширины свободной зоны реперного знака (рис.5). Например, для реперного знака диаметром 1,5мм с свободной зоной 3 мм минимальное расстояние от центра реперного знака до края платы – 6,25 мм.

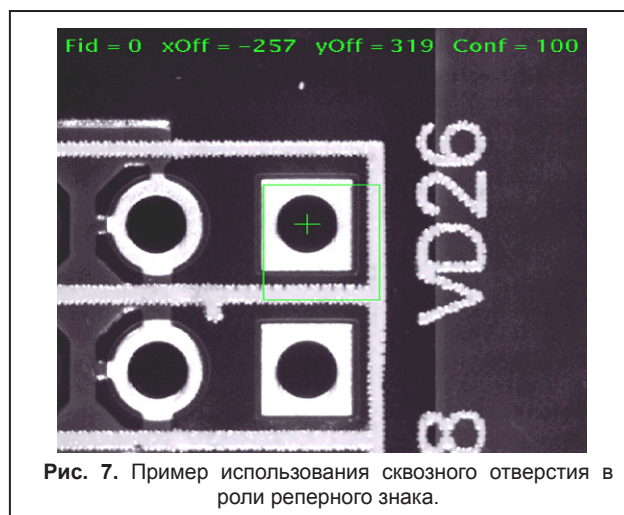


Так же недопустимо расположение реперных знаков под SMD компонентами (исключением могут быть только локальные реперные знаки), так как в случае монтажа на нескольких автоматах реперный знак будет закрыт компонентом и будет недоступен для считывания на следующем автомате. Так же следует избегать близкого расположения реперного знака и одинаковых с ним по форме и размеру контактных площадок – на некоторых типах технологического оборудования это может привести к ошибочному распознаванию площадки как реперного знака и, следовательно, катастрофически неточной

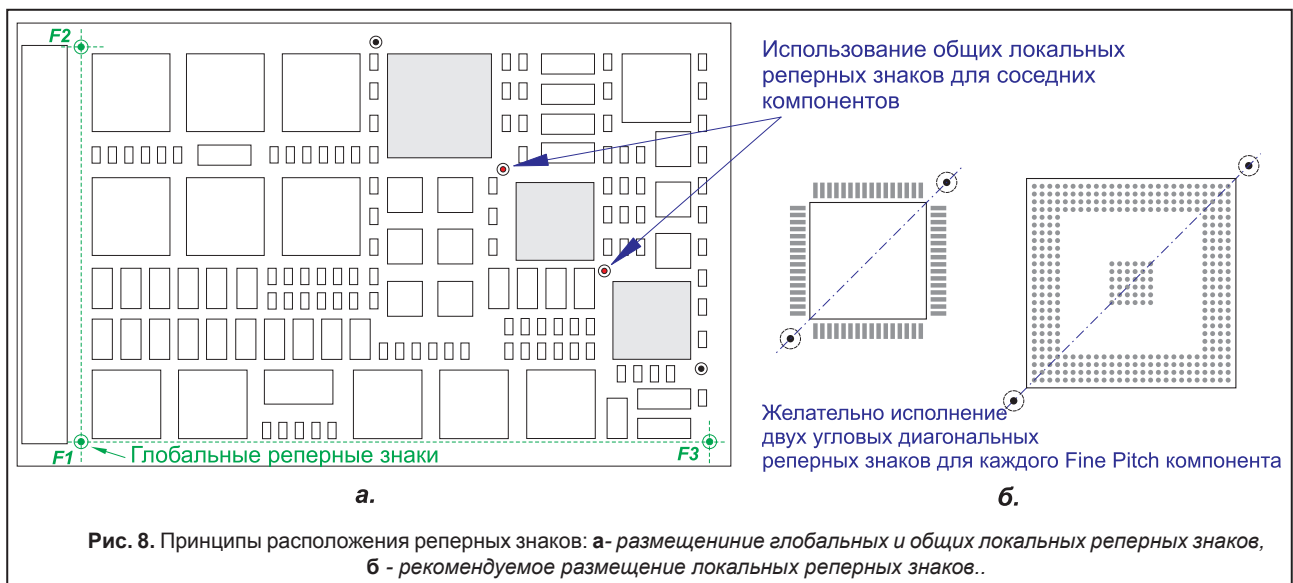
установки компонентов. На рис. 6 показаны два некорректных варианта расположения реперных знаков – вариант «а» - не выдержано минимальное расстояние от нижнего края платы до реперного знака, вариант «б» - в непосредственной близости от реперного знака находится круглая контактная площадка диаметром, равным диаметру реперного знака.



В случае, если реперные знаки на плате выполнены некорректно, либо отсутствуют вообще, единственным выходом является использование в качестве таковых имеющихся на плате сквозных металлизированных отверстий в контактных площадках под компоненты с штыревыми выводами (рис. 7).



Но этот способ имеет ряд серьезных недостатков. Во-первых, формирование топологии печатных проводников и сверловка отверстий – это два разных технологических процесса.



Поэтому неточность совмещения центров контактных площадок и центров отверстий (достигающая иногда нескольких десятых долей миллиметра) автоматически транслируется в неточность установки компонентов при выборе отверстий в качестве реперных знаков. Во-вторых, далеко не на всех платах в диагональных углах располагаются отдельно стоящие контактные площадки подходящего размера с отверстиями более 1 мм.

Виды реперных знаков.

Глобальные реперные знаки (Global Fiducials) – общие реперные знаки, используемые для определения местоположения всех элементов печатной платы.

Для корректировки поступательных линейных (по осям X и Y) и вращательных (по оси Θ) сдвигов необходимо наличие на печатной плате (или панели) как минимум двух глобальных реперных знаков. Для корректировки нелинейных искажений топологии печатной платы (например вытягивание, сжатие, сдвиг рисунка печатных проводников) необходимо наличие минимум трех реперных знаков. Хорошо зарекомендовавшей себя практикой является расположение на плате трёх глобальных реперных знаков на максимально возможном расстоянии друг от друга, как показано на рис. 8а. Первый реперный знак (F1) располагается в условной позиции «0-0», а второй (F2) и третий (F3) с максимально возможным положительным смещением по осям Y и X соответственно, относительно первого. Глобальные реперные знаки желательно вводить в топологию печатной платы ещё на этапе её разработки в CAD системе. Для этого достаточно создать соответствующую библиотеку с набором реперных знаков нескольких типоразмеров и добавлять их в проект как обычный компонент. В этом случае при трассировке платы автоматически выполняются требования к отсутствию проводников во внешних слоях и однородности приповерхностных внутренних слоёв платы в граничной зоне реперного знака. Так же, при создании “Pick & Place” отчёта, в этом случае будут автоматически генерироваться координаты центров реперных знаков.

Локальные реперные знаки (Local Fiducials) - реперные

знаки, используемые для определения местоположения индивидуального элемента печатной платы. Как правило локальные реперные знаки используются некоторыми видами автоматов установщиков для увеличения точности позиционирования наиболее критических компонентов таких как, например, интегральные схемы с малым шагом выводов (QFP, BGA, и т.п.). Локальные реперные знаки располагаются симметрично геометрическому центру компонента в диагонально противоположных углах в непосредственной близости к периметру посадочного места компонента (см. рис. 8б). Для корректировки поступательных линейных (по осям X и Y) сдвигов необходимо наличие как минимум одного локального реперного знака. В случае применения одного реперного знака он может быть расположен непосредственно под компонентом (например в геометрическом центре его посадочного места.). Так же, при отсутствии возможности диагонального размещения локальных реперных знаков, допускается их произвольное размещение в непосредственной близости или под компонентом (рис. 9).

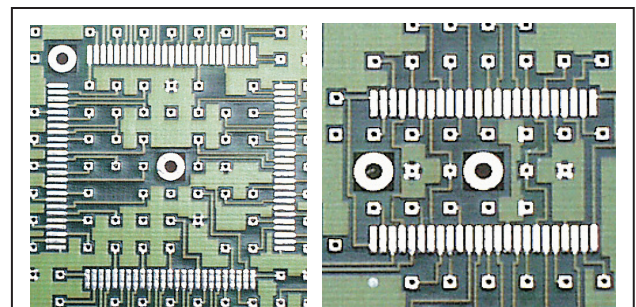


Рис. 9. Варианты размещения локальных реперных знаков под компонентами.

Для корректировки поступательных линейных (по осям X и Y) и вращательных (по оси Θ) сдвигов необходимо наличие как минимум двух локальных реперных знаков а при необходимости обеспечения максимальной точности установки – трёх реперных знаков. При отсутствии свободного

места на печатной плате для расположения индивидуальных локальных реперных знаков для нескольких компонентов, может быть произведено совмещение локальных реперных знаков близко расположенных компонентов (см. рис. 8а). В этом случае один реперный знак используется как локальный для двух компонентов одновременно. Локальные реперные знаки, так же, как и глобальные, желательно вводить в топологию печатной платы ещё на этапе её разработки в CAD системе.

Сегментные реперные знаки (Image Fiducials) – реперные знаки, содержащиеся в изображении печатной платы – глобальные реперные знаки на мультиплицированной панели печатных плат, находящиеся в пределах периметра индивидуального сегмента панели (в пределах периметра печатной платы, получаемой после разделения панели). Таким образом, для каждой конечной платы, получаемой после разделения панели, сегментные реперные знаки являются глобальными (рис. 10). Или другими словами – при мультиплицировании печатной платы её глобальные реперные знаки превращаются в сегментные реперные знаки панели.

Реперные знаки панели печатных плат (Panel Fiducials) – глобальные реперные знаки, расположенные вне периметра конечных сегментов (печатных плат получаемых при разделении панели). Как правило реперные знаки данного типа используются в том случае, если по каким либо причинам нет возможности расположить сегментные реперные знаки на в пределах периметра конечных печатных плат (например очень маленький размер печатной платы и очень плотное расположение компонентов или элементов топологии). В большинстве случаев, нет необходимости дополнительно вводить реперные знаки панели, если имеются сегментные реперные знаки.

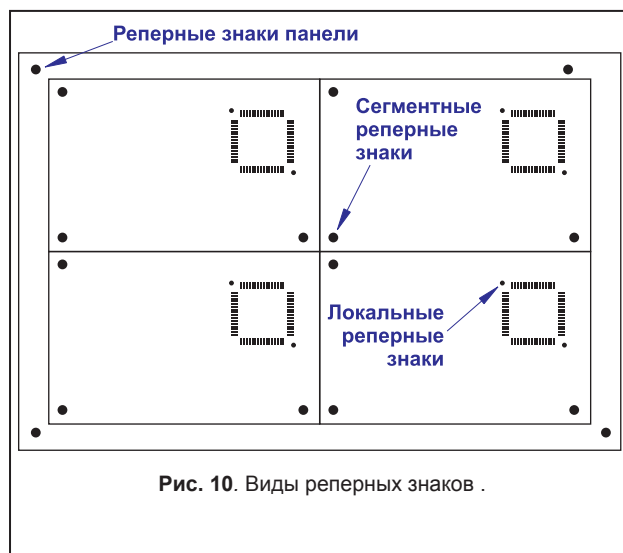


Рис. 10. Виды реперных знаков .

Защита реперного знака

В заключение рассмотрим еще один вопрос, связанный с реперными знаками малого диаметра (1мм). Являясь неотъемлемым элементом топологии проводников внешних слоёв печатной платы, реперный знак формируется с использованием всех соответствующих технологических

процессов. Как известно одним из этапов производства печатных плат является электролитическое осаждение меди с использованием маски из пленочного фоторезиста. В этом аддитивном процессе медь осаждается на участки, не защищенные фоторезистом, чем достигается требуемая толщина печатных проводников. Одним из факторов влияющих на равномерность осаждения меди является плотность и однородность рисунка печатных проводников. Чем плотнее и равномернее заполнение всех участков печатной платы проводниками – тем равномернее на них осаждается медь. В случае, если какие-либо элементы проводящего рисунка расположены на относительно большом удалении от основной массы проводников (в нашем случае это могут быть глобальные реперные знаки, или реперные знаки панели, находящиеся в угловых, практически незаполненных проводниками областях платы) скорость осаждения меди для них может значительно увеличиваться. В результате это может привести к формированию слишком толстого слоя меди, превышающего толщину фоторезиста, что приводит к формированию большего по размеру элемента печатного проводника (реперного знака), имеющего к тому же неправильную форму (рис. 11б). При этом повышается риск повреждения реперного знака в процессе производства, транспортировки и т.п. Пример, наглядно иллюстрирующий описываемую ситуацию приведен на рис. 12. В данном случае реперный знак диаметром 1 мм, расположен в угловой, малонасыщенной проводниками, области панели. После изготовления и транспортировки панели возникли повреждения, вызвавшие нестабильное распознавание данного знака некоторыми видами технологического оборудования. Так как реперные знаки – это элементы, прежде всего, оптические, то любые его дефекты крайне нежелательны.

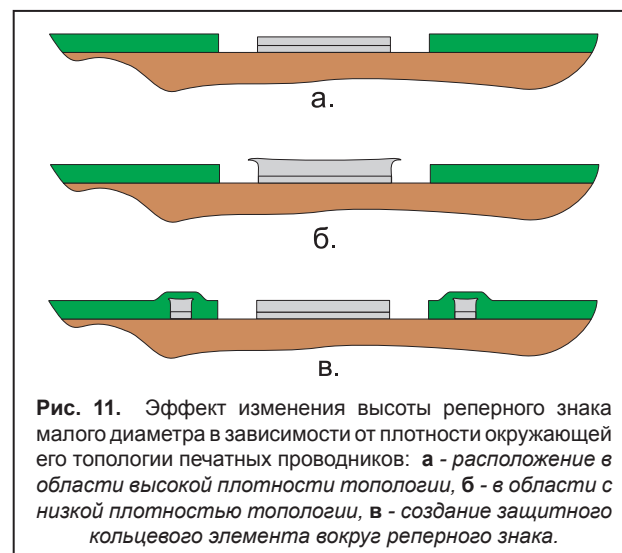


Рис. 11. Эффект изменения высоты реперного знака малого диаметра в зависимости от плотности окружающей его топологии печатных проводников: а - расположение в области высокой плотности топологии, б - в области с низкой плотностью топологии, в - создание защитного кольцевого элемента вокруг реперного знака.

Эффективным методом преодоления описанной проблемы является либо увеличение (если это возможно) диаметра реперного знака до 1,5-2мм, либо введение в топологию проводников печатной платы защитного элемента в виде кольцевого барьера вокруг реперного знака (рис.) Это, во-

первых, снижает эффект чрезмерного осаждения меди на реперный знак, во-вторых формирует для него так называемый «защитный карман» - результирующая толщина реперного знака с покрытием получается меньше чем суммарная толщина защитного кольца и маски. Рекомендуемый внутренний диаметр защитного кольца – на 0,25-0,5 мм больше чем соответствующее окно в маске вокруг реперного знака.

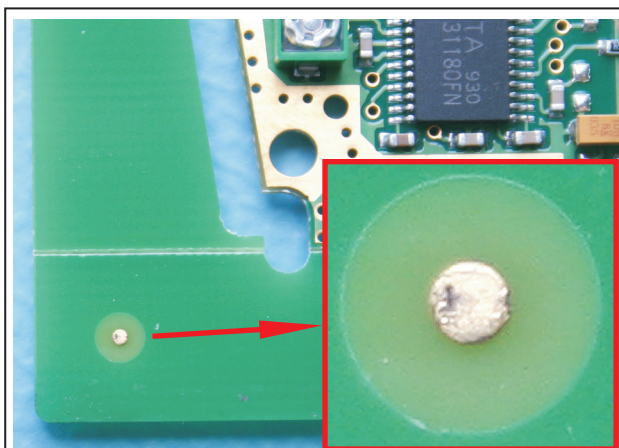


Рис. 12. Пример повреждения реперного знака диаметром 1мм и высотой, превышающей толщину паяльной маски.

Заключение

Суммируя вышеизложенный материал, хотелось бы заметить следующее – наличие реперных знаков на печатной плате – один из фундаментальных факторов, определяющих её технологичность при автоматизированном монтаже, обеспечивающих в конечном итоге его продуктивность и качество. Это обязательно следует учитывать при разработке современных изделий электроники.

Если при прочтении данной статьи у Вас возникли какие либо вопросы – технические специалисты ДП «Экран» ОАО «ЧеЗар» всегда всегда смогут помочь вам найти на них ответы.

Документы для дополнительной информации:

- *SMEMA 3.1 Fiducial Mark Standard*
(<http://www.smema.org/smemastandards.htm>)
- *IPC-7351 Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard*
(<http://www.ipc.org/>)