

СМАЧИВАЕМОСТЬ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ

Шумских Илья Юрьевич - аспирант Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева

Аннотация: В статье рассмотрены характеристики паяных соединений, исследованы взаимосвязи первоначальных параметров материалов входящих в состав паяных соединений и параметров самого паяного соединения в определенный момент времени, подробно изучен процесс смачивания металлов.

Ключевые слова: паяные соединения, паяльная паста, смачивание, параметры, паяемость, надежность, качество.

Контроль качества РЭА является важнейшей операцией и должен проводиться со стадии проектирования изделия. Никакой другой процесс, кроме пайки, не вмещает в себя такой широкий круг физико-химических явлений, протекающих в твердой, жидкой и газовой фазе: восстановление и диссоциация, испарение и возгонка, смачивание и капиллярное течение, диффузия и растворение, пластифицирование и адсорбционное понижение прочности.

Характеристики паяных соединений зависят не только от природы их получения, но и от параметров припоев, паяльных смесей и паст, а также спаиваемых материалов. Наиболее распространенным методом конструирования и сборки печатных узлов на сегодняшний день является технология поверхностного монтажа (SMT - Surface Mount Technology) или SMD - технология (Surface Mounted Device - прибор, монтируемый на поверхность). Паяльная паста служит неотъемлемой частью такой технологии, поэтому и рассмотрим именно ее параметры.

Паяльная паста представляет собой массу, состоящую из смеси порошкообразного припоя с частицами, обычно сферической формы, и флюса связки. Свойства паяльной пасты зависят от процентного содержания металлической составляющей, типа сплава, размеров частиц порошкообразного припоя, типа флюса и всевозможных присадок для улучшения смачиваемости. Реологические свойства паяльных паст позволяют использовать автоматическое нанесение. Немаловажны и электрические свойства.

Паяльная паста служит временным клеем во время установки компонентов и образует постоянное электрическое и механическое межсоединение после операции пайки. Развитие технологии паяльных паст не только поддерживает непрерывную миниатюризацию в электронной промышленности, но также подает надежду на внедрение недорогих процессов формирования шариковых выводов.

Требования, предъявляемые к паяльным пастам, следующие:

- температура плавления паяльной пасты должна быть ниже температуры плавления паяемого металла;
- паяльная паста должна обладать хорошей клейкостью для удержания компонентов до пайки;
- паяльная паста должна обладать хорошей текучестью в жидком состоянии, смачивать поверхности металлов, растекаться, проникать в узкие зазоры (но иметь стойкость к растеканию при предварительном нагреве);
- паяльная паста должна образовывать с соединяемыми материалами сплав, обеспечивать прочную связь;
- коррозионная стойкость паяных швов у материала должна быть одинаковой, во избежание электрокоррозии;
- температурный коэффициент линейного расширения паяльной пасты и основного металла должны быть одинаковы во избежание остаточных напряжений и трещин;
- паяльная паста не должна в значительной степени снижать прочность и пластичность соединяемых материалов;
- электропроводность, теплопроводность и другие физико-химические свойства паяльной пасты и основного металла не должны кардинально отличаться;
- паяльная паста должна как можно дольше храниться без изменения свойств;
- после пайки паяльная паста должна оставлять минимальное количество легко удаляемых остатков флюса.

Из вышесказанного следует, что успешное нанесение паяльной пасты и ее оплавление основываются на хорошо продуманной реологии пасты. Вязкость паяльной пасты должна быть достаточно высока для поддержания устойчивого взвешенного состояния тяжелого порошкообразного припоя во флюсе во время хранения и обращения. В то же время она должна быть довольно низка во время нанесения пасты, чтобы паста могла легко течь через отверстия в трафарете. Затем, после нанесения, вязкость пасты вновь должна быть достаточно высока для того, чтобы сохранить форму отпечатков пасты и избежать расползания и образования перемычек как перед, так и после оплавления.

Поэтому, большинство современных предприятий при входном контроле и непосредственно перед использованием паяльных паст используют только системы измерения вязкости, вискозиметры, ошибочно полагая, что параметр вязкости

определяет качество паяльной пасты и ее способность сохранять свои свойства. Тем не менее, способность пасты равномерно наноситься на поверхности (клейкость), такие свойства, как смачиваемость и растекаемость, отсутствие эффекта излишней растекаемости — вот основные параметры паяльной пасты, определяющие качество конечных продуктов.

Плохое смачивание или отсутствие смачивания очень неприятный дефект, поскольку его трудно обнаружить, а его наличие может вызвать серьезные претензии, если изделие уже попало на рынок.

Плохая смачиваемость является дефектом паяльных паст. Этот дефект влияет на возникновение таких дефектов выпускаемых печатных узлов, как микрозамыкание, сдвинутый участок, ложная пайка, холодная пайка, эффект «надгробного камня», трещины в пайке, слабое соединение, пустоты и др.

Очень часто изделия могут оказаться в условиях с постоянно изменяющимися температурами, изменяющейся влажностью, могут подвергаться ударам и вибрациям. Если пайка недостаточно прочная, в соединениях возможно развитие трещин или, что еще хуже, компоненты схемы могут просто отлетать от платы. Поэтому показателю смачиваемости зачастую присваивается наивысший приоритет среди других основных характеристик, таких как время сохранения липкости и других показателей реологии паст.

Смачивание – это тот процесс в пайке, где припой входит в прямой металлический контакт с металлами, которые спаиваются в соединение, создавая в нем специальный сплав припоя и металла. В свою очередь, это предполагает, что металлическая поверхность соединения настолько чиста, что можно создать металлический контакт. Когда жидкость попадает на поверхность твердого тела, она принимает определенную форму, которая определяется свойствами и жидкости и твердого тела. Угол в точке контакта жидкости с твердой поверхностью между плоскостями жидкости и твердого тела называют «углом контакта». Величина этого угла служит показателем смачиваемости. Естественно на практике никто не измеряет величину этого угла. Это технологически невозможно и не принципиально. Контроль смачиваемости производится визуально. Иногда снимки контролируемого соединения сравниваются с эталонными снимками, но, зачастую, плохая смачиваемость очевидна и без этого.

Часто для описания связи между металлом и припоем, когда припой смачивает металл, используют термин «интерметаллид» (в качестве интерметаллической связи). Но это неправильно: в действительности этот точный металлургический термин относится к интерметаллическим соединениям, т.е. соединениям элементов, чьи атомы имеют чрезвычайно высокое сродство друг с другом – настолько близкое, что их наличие отрицает связь с другими элементами другими средствами. Чтобы понять разницу между интерметаллическими соединениями и сплавами, очень важно понимать, что интерметаллические химические соединения имеют фиксированные стехиометрические соотношения. Сплавы же характеризуются соотношениями металлов, которые могут быть различными.

Смачивание осуществляется, когда припой входит в близкий контакт с атомами металлов. Если поверхность металла абсолютно чистая и на ней имеются атомы металлов, тогда припой смачивает металл, формируя связь с атомами металла на поверхности раздела. После того, как это межповерхностное сцепление сформировалось, его нельзя удалить.

Если же металлическая поверхность каким-либо образом загрязнена, скажем, окислена, и на поверхности нет атомов металлов, тогда не происходит смачивания подобно тому, как капля воды на масляной поверхности остается в форме капельки.

Рассматривая процесс смачивания металлов, необходимо определить два других термина. Первый обозначает несмачивание, означающее, что частично или на всей металлической поверхности, которую нужно припаять, нет припоя. Обычно это происходит на поверхности, где загрязнение или оксид препятствуют формированию необходимого сцепления между металлом и слоем припоя. Второй обозначает десмачивание – утерю способности смачиваться – когда, после того как произошло соединение припоя с поверхностью, припой оттягивается от металлической поверхности и образует случайным образом разбросанные капли. В дальнейшем припой нельзя собрать из-за возникшего высокого поверхностного натяжения. Иногда бывает трудно определить случай десмачивания, простого визуального контроля бывает недостаточно.

Причина обеих проблем обычно заключается в недостаточной чистоте металлической поверхности, хотя десмачивание может иметь место, когда образуются большие количества интерметаллических соединений.

Для начала рассмотрим влияние компонентов сплава на смачивание, сделаем выводы, и потом уже будем изучать причины плохой смачиваемости, обусловленные не природой самой пасты, а условиями ее эксплуатации (например, разнообразием температурных

профилей оплавления).

Так как на смачивание большое влияние оказывает образование интерметаллических соединений и так как образование интерметаллических соединений определяется реакцией между элементами, справедливо ожидать, что компоненты сплава припоя будут иметь значительное влияние на смачивание припоев. Существует следующий порядок ранжирования ряда эвтектических двойных сплавов по их способности содействия смачиванию: олово > свинец > серебро > индий > висмут. Данный порядок ранжирования сохраняется даже для трех- и четырехкомпонентных припоев.

Также необходимо отметить, что влияние компонентов сплава на смачивание должно рассматриваться только как руководящий принцип. Многие другие параметры, такие, как вязкость или совокупное воздействие, могут доминировать над влиянием отдельных компонентов и изменить относительный порядок растекания припоев. Например, хотя чистое Sn по смачиванию медной поверхности превосходит эвтектический сплав SnPb, припой SnAgBi, такие, как Sn_{91,7}/Ag_{3,5}/Bi_{4,8}, смачивают лучше, чем эвтектический припой SnAg, несмотря на добавление менее предпочтительного элемента Bi.

При образовании окисной пленки на поверхности спаиваемых тел именно эта пленка, как уже говорилось выше, становится основным препятствием на пути их хорошего смачивания припоем. Флюс, который помимо шариков сплавов входит в состав паяльных паст, играет большую роль для обеспечения должной смачиваемости. При этом он выполняет следующие функции:

- образует однородную структуру с припоем;
- обеспечивает необходимые реологические свойства паяльной пасты, снижает поверхностное натяжение припоя;
- способствует сохранению формы отпечатков пасты;
- обеспечивает клеящие свойства паяльной пасты для фиксации компонентов после их установки;
- удаляет оксиды с поверхностей, подлежащих пайке, и частиц припоя;
- создает защитную пленку для предотвращения повторного окисления в процессе пайки;
- содействует самоцентрированию компонентов в процессе пайки;
- содействует передаче тепла при пайке.

Флюс состоит из различных канифолей, активаторов, тиксотропных материалов и растворителей. За паяемость отвечают канифоли и активаторы. Тиксотропные материалы и растворители на паяемость не влияют.

После рассмотрения компонентов паяльных паст, напрашивается вывод, что плохая смачиваемость, которая обычно встречается на выводах ИС, вызывается следующими причинами:

1. Сильным окислением основного металла (меди, фосфористой бронзы и др.). В производстве корпусов с выводами сначала проводится металлизация выводного провода припоем, затем вывод формуют, потом отрезают по заданной длине. Другими словами, при производстве таких компонентов незащищенный сплав припоя сразу же подвергается воздействию внешней среды после изготовления компонента и легко окисляется при хранении.

2. Применением трудных для пайки металлов, типа сплава 42 (Fe, Ni).

По мере миниатюризации шаг элементов уменьшается (0,6 - 0,5 - 0,4 мм), провода выводов становятся тоньше и тоньше, и они легко гнутся. Чтобы сделать их более жесткими, стали использовать сплавы типа Fe, Ni. Окисная пленка с таких сплавов удаляется с большим трудом. Поэтому активирующую способность паяльных паст следует оценивать по способности активирующих добавок флюса удалять окисную пленку.

Активаторы можно подразделить на две группы:

- на основе галогенов;
- на основе органических кислот.

И те, и другие реагируют с окисленными металлами и очищают их. Реакционная способность зависит от конкретных компонентов, но в принципе, галогеносодержащие соединения оказывают более сильное действие и вполне эффективно удаляют пленку окиси, но, с другой стороны, в сравнении с органическими кислотами они несут с собой и большую опасность коррозии.

Ранее для оценки флюсов широко пользовались стандартом MIL. По MILQQ-S-571 флюсы подразделялись на флюсы типа R (на основе натуральных канифолей), флюсы типа RMA (слегка активированные, на основе натуральных канифолей), флюсы RA (активированные на основе натуральных канифолей) и флюсы типа LR (с малым остатком).

Стандарт MIL сейчас заменен новым стандартом IPC/EIA J-STD-004. Классификация флюсов по этому стандарту представлена в таблице 1.

Уровень активности флюса свидетельствует о коррозионных и проводящих свойствах

остатков флюса после пайки и необходимости их удаления. Удаление остатков флюса на основе чистой канифоли (RO) и слабо активных флюсов (ROL0, REL0), как правило, не требуется. Остатки средне активных флюсов (RON0, RON1, REN0, REN1) обычно необходимо удалять с помощью специальных растворителей. Остатки органических флюсов (OR) подлежат обязательной отмывке в воде.

Как уже пояснялось выше, плохая смачиваемость обычно связана с плохим качеством компонентов (окислением), применением трудно паяемых сплавов в качестве основных металлов (Fe, Ni, и т. д.) и в покрытиях (Ni/Pd, Ni/Au и т. д.).

Таблица 1. Классификация флюсов по стандарту IPC/EIA J-STD-004.

Основа флюса

Уровень активности флюса (% содержание галогенов)

Тип флюса по

IPC/EIA J-STD-004

Канифоль

Rosin (RO)

Низкий (0%)

ROL0

Низкий (<0,5%)

ROL1

Средний (0%)

ROM0

Средний (0,5-2,0%)

ROM1

Высокий (0%)

RON0

Высокий (>2,0%)

RON1

Синтетические смолы

Resin (RE)

Низкий (0%)

REL0

Низкий (<0,5%)

REL1

Средний (0%)

REM0

Средний (0,5-2,0%)

REM1

Высокий (0%)

REN0

Высокий (>2,0%)

REN1

Органические кислоты

Organic (OR)

Низкий (0%)

ORL0

Низкий (<0,5%)

ORL1

Средний (0%)

ORM0

Средний (0,5-2,0%)

ORM1

Высокий (0%)

ORN0

Высокий (>2,0%)

ORN1

Единственную меру, которую можно порекомендовать – это повысить немного в допустимых пределах пиковую температуру пайки, так чтобы не повредить компоненты, например, с 210°С до 220°С. Можно также предложить использовать активные, например, галогеносодержащие, пасты, если это будет приемлемо. Также сейчас для решения проблем плохой смачиваемости большинство производителей паяльных паст стали выпускать безотмывочные паяльные пасты с мощным смачивающим действием и не содержащие галогенов.

Из вышесказанного, казалось бы, следует, что можно выбрать безотмывочную пасту и

забыть про проблему плохой смачиваемости и, как следствие, большинства типов дефектов. Но это не так. Необходимо для каждого конкретного случая учитывать все преимущества и недостатки безотмывочных паст и паст требующих отмывки. Поэтому рассмотрим плюсы, минусы и особенности технологий применяемых при использовании паст, содержащих флюсы, не требующие отмывки, и паст с водосмываемыми флюсами.

Отличительной особенностью паст с флюсами, не требующими отмывки является применение в их составе флюса, который не требует обязательного удаления остатков после пайки. Оставшийся на поверхности флюс после пайки не должен способствовать протеканию коррозионных процессов и ухудшать уровень электрических параметров печатной платы и всего печатного узла в целом. Это принципиально важно, т.к. при пайке за счет капиллярного эффекта флюс затекает в узкий зазор (до 50 мкм) между корпусом электронного компонента и печатной платы.

После пайки остатки флюса, не требующего отмывки, сшиваются в полимер, который запечатывает все оставшиеся растворители и активаторы. Этот полимер является хорошим диэлектриком, но при этом он будет чувствителен к внешним воздействиям и разрушается при температурных колебаниях и механических воздействиях. Разрушение полимера приведет к попаданию на поверхность печатного узла активаторов, обладающих проводимостью и вызывающих коррозионные эффекты во влажной среде.

Решение об отмывке печатных плат в каждом конкретном случае принимают технологи и разработчики РЭА с учетом конструктивных особенностей печатных узлов, уровня технологического оснащения предприятия, а также условиями эксплуатации РЭА. В большинстве случаев именно при изготовлении бытовой, но никак не космической, электроники отмывка флюса не требуется.

В случае необходимости удаления остатков даже не требующего отмывки флюса, например, при эксплуатации изделий в жестких климатических условиях, для высоко ответственной аппаратуры, в том числе космической и бортовой, перед нанесением влагозащитных покрытий, печатные узлы могут и должны быть эффективно отмыты от остатков флюсов после пайки с применением специализированных промывочных жидкостей. Большинство паяльных паст крупных производителей не содержат во флюсе сложно удаляемых компонентов и протестированы производителями промывочных жидкостей на пригодность к отмывке.

Паяльные пасты с водосмываемыми флюсами всегда отличаются хорошей смачиваемостью на разнообразных типах финишных покрытий: иммерсионное олово, иммерсионное серебро, никель/золото, палладий, сплав 42, HASL и OSP, как при пайке в

воздушной среде, так и в инертной. Эти флюсы содержат большое количество активаторов влияющих на смачиваемость с учетом, что их остатки после оплавления останутся активными, но будут легко удалены в самое короткое время после пайки. Их рекомендуется удалить в течение 72 часов после пайки. Наилучшее качество отмывки отмечено при отмывке теплой деионизированной водой в струйных системах отмывки. Чем Быстрее будет произведена отмывка остатков водосмываемого флюса, тем меньше будет воздействие на паяные соединения и тем проще будет подобрать параметры отмывки для полного удаления остатков флюса.

Параметры отмывки подбираются в зависимости от количества остатков флюса и плотности поверхностного монтажа. Если отмывка печатного узла производится более чем через 72 часа после оплавления или печатный узел хранился в помещении с повышенной относительной влажностью воздуха, а также, если этот печатный узел используется в космической или бортовой аппаратуре, то для получения хороших результатов отмывки рекомендуется использовать специальные промывочные жидкости для удаления остатков флюса. Отмывка водосмываемой паяльной пасты специализированными промывочными жидкостями позволяет получать стабильно качественные результаты.

Рассмотрев пайку с безотмывочными пастами и пастами требующими отмывку, мы плавно перешли от причин возникновения плохой смачиваемости, связанных с природой пасты, к технологическим причинам. Такие причины включают в себя: плохую и неравномерную паяемость основного металла, дегазацию, несоответствующий температурный профиль оплавления и среда пайки. Рассмотрим эти причины подробнее.

Относительно плохая и неравномерная паяемость основного металла может послужить причиной уменьшения способности смачиваться. Даже если основной металл первоначально смачиваем, ухудшение паяемости со временем все равно может привести к уменьшению способности смачиваться. На основном металле могут быть загрязнения под покрытиями из олова, олова и свинца, серебра или золота. Во время пайки покрытие растворяется, и открывается загрязнение. В качестве альтернативы рост интерметаллического соединения на границе раздела также может вызвать уменьшение способности смачиваться, так как обычно интерметаллические соединения быстро становятся не пригодными к пайке, когда подвергаются воздействию воздуха. В обоих случаях паяемость ухудшается, и образуются маленькие несмачиваемые области.

Уменьшение способности смачиваться может также произойти в результате

газовыделения из компонента в расплавленный припой. Распад органических соединений под действие тепла или выделение воды гидратированными неорганическими соединениями образует газ. Водяной пар может быть также образован при протекании реакций с участием флюса. Степень уменьшения способности смачиваться зависит от количества выделившегося газа, состава газа и расположения места выделения газа. Чем больше количество, чем выше содержание водяного пара и чем глубже расположено загрязнение, вызывающее выделение, тем сильнее уменьшение способности смачиваться.

Несоответствующий профиль пайки и среда могут также послужить причиной уменьшения способности смачиваться. Для минимально смачиваемой поверхности недостаточность подводимой теплоты, например вследствие слишком низкой температуры пайки или слишком малого времени пребывания при температуре, превышающей температуру ликвидуса припоя, усугубит плохое смачивание и приведет к большему количеству несмоченных участков на границе раздела припой — основной металл. С другой стороны, чрезмерный подвод теплоты может также привести к уменьшению способности смачиваться вследствие ухудшения паяемости и дегазации.

Дополнительно рассмотрим преимущества и особенности пайки оплавлением в среде азота, или, как обычно говорят, в инертной среде. Разница между оплавлением в воздухе и оплавлением в среде азота заключается лишь в том, происходит или нет дополнительное окисление контактных площадок и выводов компонентов во время нагрева в печи. Вполне естественно, что при хранении и контактные площадки и выводы компонентов окисляются. Когда же они попадают в печь, происходит дальнейшее окисление. Для удаления окислов приходится применять высокоактивные флюсы. При пайке в среде азота дополнительное окисление в печи почти не наблюдается, поэтому качественную пайку можно получить и с флюсами с низкой активностью.

К достоинствам этого процесса следует отнести:

1. Улучшение паяемости. Совместное использование азотной атмосферы и обычных безотмывочных паст дает более широкие допуски на активацию и повышает стабильность качества пайки за счет улучшения смачиваемости и уменьшения количества образующихся микросфер припоя (пустот).
2. Уменьшение количества остатка флюса. Минимальная дополнительная активация пасты позволяет создать пасту с низким содержанием твердых веществ (в основном смол), поскольку азотная атмосфера защищает частицы припоя от окисления.
3. Повышение надежности. Поскольку пайка проходит в атмосфере с низким содержанием кислорода, которая препятствует дополнительному окислению, можно значительно понизить активирующую способность пасты. Теоретически активность флюса можно снизить и до такого уровня без ущерба для качества пайки. Уменьшение

количества активатора и снижение его активности буквально увеличивает надежность пайки. При подборе пасты и рассматривая вопрос о внедрении пайки в инертной атмосфере, необходимо как следует посмотреть и проанализировать причины, почему и зачем требуется столь специальный процесс.

Подведем итоги вышесказанного. Методы устранения уменьшения способности смачиваться помимо правильного выбора паяльной пасты включают в себя: улучшение паяемости основного металла, устранение загрязнений и источников дегазации в основном металле, применение инертной или восстановительной среды пайки, использование соответствующего профиля паки, а также принятие решения об отмывке печатного узла после пайки.

Список литературы:

1. Шумских, И.Ю. Исследование параметров паяльных паст с целью прогнозирования надежности паяных соединений – Украина, Одесса: Современные направления теоретических и прикладных исследований, 2011: сборн. научн. тр. – Т.6. – С. 58-64.
2. Инженерное пособие. Материалы для пайки и ремонта печатных узлов – М.: ЗАО Предприятие Остек, 2011.
3. Кантер, А., Вахрушев, О. «Качественная паяльная паста – залог успешного производства»: Технологии в электронной промышленности, №7'2009. – с 16-18.
4. Нижник, М., Черный, А. «Паяльные пасты: все о главном. Часть 2»: Производство электроники: технологии, оборудование, материалы, №6'2008. – с 26-32.
5. Ли, Нинг-Ченг. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP, и flip, chip технологии / Нинг-Ченг Ли. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2006. – 391 с.
6. Джюд, М., Бриндли, К. Пайка при сборке электронных модулей / Майк Джюд, Кейт Бриндли. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2006. – 414 с.

{social}