

Экземплярами для исследования являлись упаковки различных паяльных паст из каждой поступившей на предприятие партии и получившиеся из них паяные соединения. Исследуемыми параметрами стали вязкость, клейкость, кислотное число и поверхностное сопротивление изоляции, значения которых получались при входном контроле паяльных паст.

Прогнозирование проводилось двумя методами: методом регрессионных моделей и методом дискриминантных функций (МДФ). Выявлены наиболее информативные параметры.

Метод регрессионных моделей целесообразно использовать при большом числе информативных параметров. Оценка ошибки прогнозирования будет тем точнее, чем больший объем выборки использован в обучающем эксперименте, так как при этом будут точнее найдены оценки математического ожидания, среднеквадратического отклонения и коэффициента корреляции. Регрессионная модель дает наилучшую оценку значения прогнозируемого параметра, если признаки и прогнозируемый параметр имеют совместимое нормальное распределение.

Достоинством МДФ является его простота, а недостатком – неоптимальность разделяющей поверхности (гиперплоскости), так как она выбрана из соображений простоты оператора, а не его оптимальности. В работе подтверждено, что МДФ уместно применять, когда классы хорошо разделяются.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ И ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

И.Ю. Шумских

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) представляет собой сложное сочетание многочисленных взаимосвязанных блоков, электронных узлов и радиоэлементов. Сама РЭА в свою очередь является составной частью разнообразных радиотехнических систем и комплексов, выполняющих важнейшие задачи по получению, преобразованию и дальнейшей передаче информации, как на бытовом уровне, так и в военной промышленности и в аэрокосмической отрасли. И чем важнее поставленные перед РЭА задачи, тем больше усложняется ее структура и, соответственно, уменьшается надежность. Таким образом, выход из строя одного из радиоэлементов или электронного узла может привести к потере работоспособности всей системы в целом, что приведет к серьезным материальным затратам, поэтому

целесообразно предупреждать отказы, нежели расплачиваться в будущем за целый неисправный комплекс. Это материально обосновано.

При проектировании, разработке, производстве, лабораторно-отладочных и конструкторско-доводочных испытаниях, а также дальнейшей эксплуатации РЭА принимаются всевозможные меры по повышению ее надежности. К ним относятся: применение высоконадежных (соответственно и дорогостоящих) комплектующих изделий; двойное и тройное резервирование как наиболее важных узлов или блоков, так и прибора целиком; улучшение технологических процессов производства и испытания РЭА; усовершенствование схемы путем повышения ее стойкости к наводкам, внешним и внутренним помехам и внешним воздействиям. Однако данные методы повышения надежности не равнозначны по стоимости и эффективности, а также не могут окончательно снизить количество отказов. Именно своевременное прогнозирование отказов и устранение причин их появления является наиболее эффективным и наименее дорогостоящим способом поддержания работоспособности аппаратуры на протяжении всего заявленного срока работы.

Пайка – важная технология создания соединений, используемая как на первом уровне (корпусирование интегральных схем), так и на втором уровне (монтаж электронных компонентов на печатные платы) техпроцесса в современной электронной промышленности. Следовательно, для достижения высококачественного производства с высоким уровнем выхода годных изделий необходимым условием является повышение надежности паяных соединений радиоэлементов, компонентов и электронных узлов РЭА.

Целесообразно прогнозировать изменение свойств и параметров паяных соединений после изготовления, а также возможность использования аппаратуры, в которую они входят, по окончании указанного в паспорте на изделие срока службы. Совокупность минимальных затрат и наибольшей точности, а следовательно и эффективности, дает индивидуальное прогнозирование. Его смысл заключается в наблюдении за каждым экземпляром из их большого множества и по результатам этого наблюдения выявление возможности дальнейшего использования этого экземпляра. Для данной работы этими экземплярами являются улаковки различных паяльных паст из каждой поступившей на предприятие партии и получившиеся из них паяные соединения. Исследовались значения параметров, полученных при входном контроле, таких как вязкость, клейкость и кислотное число паяльной пасты, а также поверхностное сопротивление изоляции полученного паяного соединения, измерение которого проводилось в соответствии со стандартами IPC-9201, J-STD-008 и Bellcore GR-78-CORE.

В связи с тем, что прогнозирование осуществляется сложными математическими методами и алгоритмами, то необходимо использовать ресурсы ЭВМ. На данный момент отсутствует какой либо программный

комплекс, осуществляющий прогнозирование надежности именно паяных соединений, поэтому была использована программа, написанная ранее для прогнозирования показателей надежности электрорадиоизделий. Программа создана в Самарском государственном аэрокосмическом университете им академика С.П. Королева под названием «Прогнозирование». Использовались алгоритмы прогнозирования методами дискриминантных функций и регрессионных моделей, которые реализованы в этой программе, написанной на языке Delphi.

В настоящее время исследования параметров паяльных паст и паяных соединений с целью прогнозирования надежности вторых практически не развиты. Поэтому, в связи с отсутствием материала по схожим тематикам, эти исследования требуют глубокого анализа характеристик паяльных паст, подбора их информативных и прогнозируемых параметров, а также подробного изучения математического аппарата методов прогнозирования.

В соответствии с вышеперечисленными фактами рассмотрены основные аспекты теории пайки и природы паяных соединений.

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. Это делает особо актуальным изучение взаимосвязи первоначальных параметров материалов, входящих в состав паяных соединений, и параметров самого паяного соединения в определенный момент времени, и прогнозирование величины последних.

Паяльная паста – важный элемент технологии поверхностного монтажа. Ее реологические свойства 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.

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 расплывания и образования перемычек как перед, так и после оплавления.

Еще больше затрудняет дело то, что паяльная паста должна быть достаточно неклеякой для отделения от ракеля и отверстий в трафарете. но достаточно клейкой, чтобы «удержаться» на печатной плате и фиксировать компоненты, устанавливаемые на отпечатки пасты. Следовательно, основательное понимание реологии является неотъемлемым для достижения нанесения пасты и ее оплавления с высоким выходом годных изделий. Поэтому первыми двумя исследуемыми параметрами стали вязкость и клейкость.

Химические реакции с участием флюса, входящего в состав паяльных паст, включают в себя кислотно-основные, а также окислительно-восстановительные, причем в технологии поверхностного монтажа в основном применяются первые, что делает актуальным исследование такого параметра паяльной пасты, как кислотное число. Оно измеряется в химической лаборатории.

Важным и необходимым, безусловно, является и измерение электрических параметров паяльных паст. К ним относятся такие параметры, как оплавление, электрохимическая миграция, коррозия и др. Но имеющим количественное представление и простые методы измерения является поверхностное сопротивление изоляции.

Ниже приведены основные способы измерения значений выбранных параметров.

Существует два основных типа вискозиметров, широко применяемых для измерения вязкости паяльной пасты. Наиболее часто используемым является вискозиметр Брукфильда. В нем шпindel с поперечиной погружается в паяльную пасту, и вязкость измеряется, пока шпindel перемещается вверх и вниз в паяльной пасте. Глубина погружения, расстояние, на которое перемещается шпindel, и число циклов перемещения в вертикальном направлении должны быть заданы, если полученные результаты будут сопоставляться.

Другой тип вискозиметра, который также широко применяется для измерения вязкости паяльной пасты, — это шнековый вискозиметр (вискозиметр Малколма). В нем вращающийся внутренний цилиндр/сенсор качает паяльную пасту через измерительное устройство. Паяльная паста поступает из верхнего отверстия и падает обратно в емкость с пастой.

Измерение вязкости должно проводиться при контролируемой температуре, так как вязкость паяльной пасты уменьшается с повышением температуры. Некоторые паяльные пасты показывают довольно высокую чувствительность к температуре.

Клейкость пасты — это ее способность удерживать компонент на печатной плате. При этом сила крепления компонентов должна оставаться постоянной в течение некоторого времени.

Таким образом, клейкость определяет способность пасты удерживать SMD-компоненты на своих местах после установки их на печатную плату и до пайки. Это свойство является индикатором того, подошло ли к концу время жизни пасты.

Тест клейкости (стандарты IPC/EIA J-STD-005, IPC-TM-650, метод 2.4.44) предусматривает применение стандартного тестера, измеряющего силу необходимую для сдвига компонента определенного веса с площадки пасты определенного размера (6,3 мм и высоты 0,25 мм). Тестовый пробник двигается со скоростью $2,5 \pm 0,5$ мм/мин и приводится в соприкосновение с компонентом, при этом в течение 5 секунд к компоненту прикладывается сила в 300 ± 30 г. Далее производится сдвиг компонента с площадки с указанной скоростью и измеряется потребная для этого сила. Производится несколько измерений через определенные промежутки времени после нанесения пасты. Данные представляются в виде графика зависимости усилия сдвига от времени. По графику определяется время, обозначаемое как время удержания («tack life» либо «tack time»), по истечении которого сила сдвига уменьшается на 20%. Пиковая сила определяет собой удерживающую способность в граммах и обозначается в характеристиках пасты как «tackiness» либо «tack force» (типичное значение: 35 – 50 г). Обычно это значение относится к начальной клейкости, измеренной непосредственно после нанесения пасты («initial tackiness»).

Понятие поверхностного сопротивления изоляции определено в стандарте IPC 9201 как «электрическое сопротивление между двумя проводниками, разделенными какими-либо диэлектрическими материалами». Оно базируется на концепции поверхностного сопротивления слоя, но также содержит элементы объемной проводимости, токов утечки через электролитические загрязнители, многослойные диэлектрические материалы, материалы металлизаций и воздух.

Определение поверхностного сопротивления изоляции с помощью SIR-тестов давно является индустриальным стандартом как главный способ определения влияния флюсов на коррозионную стойкость печатных узлов. Некоторые наиболее часто используемые методы тестирования описаны в стандартах J-STD-008 и Bellcore GR-78-CORE. Условия проведения тестов традиционно включают повышенную температуру, влажность, напряжение смещения и использование специальных тестовых плат с гребенчатой структурой проводников. Критерием успешного прохождения теста являются достаточно высокое поверхностное сопротивление изоляции и незначительные признаки коррозии или образования дендритов.

После рассмотрения каждого параметра и определения метода его измерения целесообразно выявить взаимосвязи исследуемых параметров и их влияние друг на друга.

Реология паяльной пасты существенно влияет на выполнение трафаретной печати, клейкость и расползание отпечатков. Высокие упругие свойства (восстановление), низкая податливость и низкие свойства твердых тел требуются для достижения высокого показателя клейкости. В общем случае клейкость рассматривается как функция когезии и адгезии. Сильная когезия материала требуется, чтобы предотвратить нарушение скрепления, обусловленное разрывом в объеме самого материала. С другой стороны сильная адгезия необходима для избегания нарушения скрепления на поверхности раздела с другим материалом. И высокие упругие свойства, и низкая податливость будут способствовать сильным когезионным свойствам. Низкие свойства твердых тел могут увеличить смачивание паяльной пастой компонентов и печатных плат и, соответственно, улучшить адгезию.

Паяльные пасты, как правило, представляют собой смесь мелкодисперсного порошка материала припоя со связующей жидкой основой. При этом содержание порошка припоя составляет приблизительно от 80 до 92 %. Паяльная паста уже содержит в себе и припой, и флюс, а их пропорция является одной из важных характеристик пасты. Чаще всего состав паяльных паст выражают через соотношение компонентов материала припоя, размер частиц, и активность флюса.

Реологические свойства паяльной пасты главным образом определяются химическим составом флюсов. Для того чтобы удовлетворять требованиям разнообразных процессов, реология паяльной пасты должна быть адаптирована под каждое конкретное применение. Как правило, это может быть достигнуто с помощью использования соответствующих реологических добавок во флюсах. Флюс в составе паяльных паст служит не только для активации контактируемых металлических поверхностей, удаления с них окислов и предотвращения окисления припоя в процессе пайки (что необходимо для создания паяного соединения), но и обеспечивает требуемую растекаемость (реологию), а также изменение вязкости со временем (тиксотропность) при нанесении паяльной пасты на печатную плату.

Помимо свойств флюсов, влияющих на реологию паяльной пасты, флюсы также обладают немаловажными физико-химическими свойствами, отражающимися на электрических параметрах паяльных паст, и характеризующимися одним из таких параметров, как кислотное число. Поэтому, для выявления зависимости электрических параметров паяльных паст от кислотного числа, следует рассмотреть и эти свойства.

С физико-химической точки зрения флюсы делятся на активные и не активные. В активных флюсах, как это следует из названия, присутствуют активаторы вещества, повышающие флюсоустойчивость. Среди них амины, слабые органические кислоты и др. Активаторы, как правило,

содержат ионы галогенов или активные остатки, снижающие поверхностное сопротивление изоляции.

После подбора исследуемых параметров, выбора среди них информативных и прогнозируемых, детального анализа их физической природы, методов измерения и взаимосвязи между собой было проведено прогнозирование значений параметров, несущих информацию о потенциальной надежности паяного соединения.

Как уже говорилось выше, прогнозирование проводилось двумя методами: методом дискриминантных функций и методом регрессионных моделей. Изначально был выбран только первый метод, но он не дал желаемых результатов. Вероятность ошибки прогнозирования этим методом была достаточно высока для исследуемых выборок. Поэтому для улучшения результатов прогнозирования, т.е. снижения ошибки, был применен метод регрессионных моделей. Он позволил прогнозировать значение параметра, «отвечающего» за надежность (прогнозируемого параметра), с более низкой вероятностью ошибки. Эта ошибка меньше чем в предыдущем методе, однако, также не совсем отвечает заданным требованиям. Но достоинством метода регрессионных моделей является еще получение функциональной зависимости прогнозируемого параметра от информативных параметров (признаков) в виде:

$$y^{*(j)}(t_{np}) = B_0 + B_1 x_1^{(j)} + \dots B_i x_i^{(j)} + \dots B_k x_k^{(j)},$$

где $x_i^{(j)}$ – значение i -го признака j -го экземпляра, B_i – постоянные коэффициенты.

Таким образом, были сформулированы обобщенные выводы по проделанному исследованию.

Метод регрессионных моделей целесообразно использовать при большом числе информативных параметров. Оценка ошибки прогнозирования тем точнее, чем больший объем выборки в обучающем эксперименте, так как при этом точнее найдены оценки математического ожидания, среднеквадратического отклонения и коэффициента корреляции.

Регрессионная модель дает наилучшую оценку значения прогнозируемого параметра, если признаки и прогнозируемый параметр имеют совместимое нормальное распределение. Достоинством метода дискриминантных функций является его простота, а недостатком неоптимальность разделяющей поверхности (гиперплоскости), так как она выбрана из соображений простоты оператора, а не его оптимальности. В работе подтверждено, что метод дискриминантных функций не уместно применять, когда классы плохо разделяются.

Применяя разные модели прогнозирования для выборки, можно найти подходящий оператор прогнозирования для каждого индивидуального

случая, и использовать для выборок однотипных изделий не участвующих в эксперименте, имеющих одинаковые значения, что и выборка, участвующая в эксперименте.

Для дальнейших исследований по данной тематике потребуется подробное рассмотрение существующих методов прогнозирования и выбор среди них наиболее подходящего. Также необходимо получить больший объем изучаемого материала, т.е. исследовать выборку со значениями параметров большего количества экземпляров, да и самих параметров должно быть больше. Немаловажным и достаточно трудоёмким является отыскание наиболее информативного параметра.

После выбора подходящих методов прогнозирования станет возможным создание программного комплекса, нацеленного на прогнозирование надежности именно паяных соединений.

Список использованных источников

1. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. – 267 с
2. 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. – 374 с.
3. Bao, X. Engineering Solder Paste Performance Via Controlled Stress Rheology Analysis / X. Bao, N. C. Lee. – In Proc. of Surface Mount International, San Jose, CA, 1996. – 205 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛИС В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ

П.И. Грушин, В.И. Логинов, Н.П. Ямпурин
Арзамасский политехнический институт, г.Арзамас

При эксплуатации приемо-передающей аппаратуры в условиях сложной помеховой обстановки требуется решать задачи оперативного выбора частотных каналов связи при наличии внешних помех. При наличии детерминированных помех задачи ЭМС решаются методами теории расписаний, которые имеют большую вычислительную сложность. В условиях случайных помех требуется разработка оперативных алгоритмов, отвечающих на вопрос пригодности используемых каналов связи для передачи информации. Эти алгоритмы должны быть интегрированы в контроллеры управления каналами связи. Для решения этой задачи наиболее подходят алгоритмы анализа комбинационных составляющих при