

ДМВ-терапии // Физика и технические приложения волновых процессов: Тезисы VII Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения А.С. Попова, 15-21 сентября 2008г.: Приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы» / Под ред. В. А. Неганова и Г. П. Ярового. – Самара, 2008. – С.354-355.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА ЭРИ ИП В ТОМ ЧИСЛЕ BGA-КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПРИБОРОВ РКТ.**

А. В. Иванов, А. С. Пахомов  
ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»,  
г. Самара

Цель данного исследования — изготовление печатных узлов по технологии поверхностного монтажа со свинецсодержащим припоем, оценка влияния технологических параметров на структуру паяных соединений, определение надежности паяных соединений BGA-компонентов с шариковыми выводами SnAgCu и SnPb (ЭРИ смешанной комплектации).

Для проведения работ были разработаны одинаковые по электронно-компонентной базе тестовые электронные модули (ЭМ1 и ЭМ2). Тестовый модуль ЭМ1 изготавливался по технологии поверхностного монтажа с групповым оплавлением. Тестовый модуль ЭМ2 изготавливался по технологии поверхностного монтажа с групповым оплавлением и последующим ремонтом в виде полного демонтажа и повторного монтажа ЭРИ ИП. Электронные модули ЭМ3, в количестве-24 шт, являлись основными испытываемыми модулями, для проведения ускоренных исследовательских испытаний на определение интенсивности отказов паяных соединений.

Выбранные имитаторы компонентов представляют все три конструктивные группы SMD-компонентов, в том числе:  
- Безвыводные SMD-компоненты (чипы, QFN);

- SMD-компоненты с гибкими выводами (SO, LQFP и др.) ;
- SMD-компоненты с шариковыми выводами из припоя (BGA).

### Климатические испытания

После изготовления электронные модули ЭМ1, ЭМ2 подверглись искусственному старению в течение 300 часов при температуре 100°C на воздухе для имитации некоторого периода ускорения таких возможных процессов, как рост зерен припоя, образование интерметаллических соединений и окисление.

Следующим видом испытаний было термоциклирование -100 циклов при температуре от минус 50 °С до плюс 70°C с выдержкой при каждой температуре в течение 15 минут; измерение сопротивлений контрольных цепей производилось после 25-го, 50-го, 75-го и 100-го цикла.

После проведения испытаний электрические цепи сохранили исходное состояние. Электронные модули ЭМ1, ЭМ2 были отправлены на проведение рентгенконтроля и микроструктурный анализ паяных соединений.

### Анализ рентгеновских снимков паяных соединений

Анализ качества паяных соединений, полученных по технологии поверхностного монтажа осуществлялся: визуально с использованием микроскопа; с использованием оптической установки, обеспечивающей, оценку качества монтажа внешних выводов BGA с увеличением не менее чем в 25 крат; рентгенконтролем с использованием рентгеновской установки рсба/analyser для детального анализа качества паяных соединений BGA- компонентов[1].

На рис. 1 показаны рентгеновские снимки микросхем LBGA 144.



Рис.1. а) шариковые выводы с покрытием SnAgCu;  
б) шариковые выводы с покрытием SnPb

Результаты рентгенконтроля:

- микротрещин нет (холодная пайка);
- величина пустот менее 20%;
- наличие паяных соединений.

**Заключение:** выбранный технологический процесс обеспечивает образование качественных паяных соединений BGA-компонентов.

После проведения рентгенконтроля тестовые электронные модули ЭМ1, ЭМ2 были отправлены на анализ микроструктуры паяных соединений [3].

На рис. 2 представлена микроструктура паяных соединений BGA компонентов [1] модулей ЭМ1 и ЭМ2.

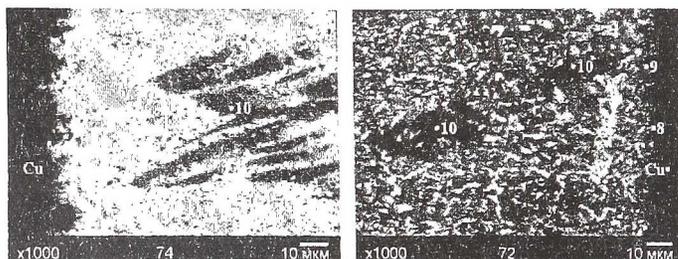


Рис.2. LBGA48. Нижняя и верхняя границы паяного соединения соответственно

На нижней границе наблюдается крупный слой интерметаллидов олово-медь толщиной до 8 мкм. На верхней границе наблюдается небольшой слой интерметаллидов 3...5 мкм. В теле паяного соединения наблюдаются включения интерметаллидов олово-меди и никеля.

### Результаты изготовления электронного модуля ЭМ3

Электронные модули ЭМ3 – в количестве-24 шт., являлись основными испытываемыми модулями, для проведения ускоренных исследовательских испытаний на определение интенсивности отказов паяных соединений.

Изготовление ПУ основного испытательного электронного модуля ЭМ3 производилось по тому же технологическому процессу, что и изготовление электронных модулей ЭМ1 и ЭМ2. Перед началом основных исследовательских испытаний тестовый электронный блок подвергся отбраковочным испытаниям. Для проведения механических испытаний ЭМ3 в количестве 24 шт. были собраны в тестовый электронный блок. Электронные модули ЭМ3 в количестве 24 шт. подверглись механическим испытаниям - ударам многократного действия (пиковое ускорение -10g, длительность ударного ускорения 5...10 мс, количество ударов – 150 (суммарно по 3 направлениям)).

Проведены климатические испытания в количестве 10 циклов с

температурным режимом от 0 до 100°C. При проведении электрического контроля обрывов паяных соединений не обнаружено.

Рассмотрим результаты проведения основных исследовательских механических и климатических испытаний паяных соединений электронных модулей ЭМЗ.

Исследовательские испытания состояли из механических испытаний и испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов [4].

Испытания проводились с целью оценки вероятности безотказной работы основных конструктивных типов паяных соединений ЭРИ с оловянно-свинцовым и бессвинцовым покрытием выводов, смонтированных с применением оловянно-свинцовых паяльных материалов.

При проведении испытаний на механические воздействия электронные модули ЭМЗ были собраны в электронный блок. Тестовый электронный блок подвергся последовательно следующим испытаниям:

1. Вибрационные воздействия.
2. Линейное ускорение.
3. Ударное воздействие.

После всех видов механических испытаний на прочность было обнаружено, что тестовая цепь 7 электронного модуля ЭМЗ (ячейка А4) имеет обрыв. Оборванная цепь (LBGA 144 с бессвинцовыми выводами) была шунтирована перемычкой между контрольными точками 7-116:7-117.

Рассмотрим результат испытаний паяных соединений электронных модулей ЭМЗ на ускоренное температурное старение.

Электронные модули ЭМЗ, установленные на технологические стойки, выдерживались в климатической камере «VC<sup>3</sup> 7018» при температуре плюс 100°C в течение 300 часов. После проведения испытаний контрольные электрические цепи были замкнуты. Целостность паяных соединений не нарушилась.

Рассмотрим результат испытаний паяных соединений электронных модулей ЭМЗ на медленное изменение температуры окружающей среды (термоциклирование).

Произведены испытания электронных модулей ЭМЗ продолжительностью 2096 часов при температуре 100°C. При испытании на термоциклирование на 53 цикле произошел отказ. При прозвонке тестовой цепи выявлен отказ микросхемы LBGA 144 в бессвинцовом исполнении выводов. Цепь была восстановлена перемычкой между контрольными точками.

Данный отказ произошел при первых 100 циклах испытаний и классифицируется как приработочный, т.е. не является «усталостным», а вызван скрытым дефектом монтажа. После проведения испытаний контрольные электрические цепи были замкнуты.

#### **Определение интенсивности отказов паяных соединений**

При проведении основных испытаний паяных соединений электронных модулей тестового блока на воздействие синусоидальной вибрации, линейных ускорений, одиночного и многократного механических ударов был выявлен один отказ паяного соединения BGA144 с *бессвинцовыми* выводами и вследствие отсутствия в мире методик оценки и пересчета механических воздействий во временные характеристики нами было принято решение считать этот отказ как термоциклический. При проведении ускоренных климатических испытаний электронных модулей тестового блока не было зафиксировано ни одного отказа ПС безвыводных и выводных SMD-компонентов и компонентов BGA с матричным расположением выводов из оловянно-свинцового припоя. На компонентах BGA 144 с матричными шариковыми *бессвинцовыми* выводами зафиксирован 1 отказ ПС, который квалифицирован как приработочный.

В работе также была проведена оценка показателей надежности (средней интенсивности отказов) паяных соединений, которая вычислялась по формуле:

$$\lambda = \frac{\chi^2 1 - \alpha^{(m)}}{2NHK_y^T},$$

где  $N$  – число паяных соединений (каждой группы компонентов), поставленных на испытания;  $H$  – число часов при испытании (в нашем случае 2000ч.);  $K_y^T$  – коэффициент ускорения (100);  $m$  – общее число степеней свободы,  $\chi^2$  – хи-квадрат распределение (табулированная величина). Интенсивности отказов паяных соединений для безвыводных компонентов (чип-компонентов), микросхем в корпусах с выводами типа «крыло чайки» и для компонентов с шариковыми выводами из оловянно-свинцового припоя (BGA) составили:  $\lambda=0,007 \times 10^{-9}$ ,  $\lambda=0,009 \times 10^{-9}$ ,  $\lambda=0,011 \times 10^{-9}$  соответственно. Полученные интенсивности отказов меньше, чем интенсивность отказов паяных соединений образованных групповым оплавлением – пайка волной припоя. В

соответствии со «Справочником надежности электрорадиоизделий»[3] для пайки ЭРИ волной припоя  $\lambda=0,07 \times 10^{-9}$  1/час. Для BGA компонентов с бессвинцовыми выводами интенсивность отказа при наличии одного отказа составит  $\lambda_1=0,184 \times 10^{-9}$  1/час. Для BGA компонентов с бессвинцовыми выводами испытания продолжены. Таким образом на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что сертифицированные ЭРИ ИП, в том числе безвыводные и микросхемы в корпусах с выводами типа «крыло чайки» промышленного исполнения с бессвинцовыми покрытиями, а также BGA с матричными шариковыми выводами из оловянно-свинцового припоя, возможно применять в бортовой аппаратуре с длительным сроком активного существования.

Авторы выражают свою признательность Е. А. Дорогову за ценные консультации, предприятию ОАО «Авангард» за проведение работ по металлографическим исследованиям паяных соединений электронных модулей, Д.В. Кунтушеву за помощь в расчете надежности паяных соединений.

#### Список использованных источников

1. Иванов А. В., Пахомов А. С. Комплексный анализ паяных соединений ЭРИ в свинцовом и бессвинцовом исполнении электронных модулей космического назначения // Молодежь. Техника. Космос: труды V Общероссийской молодежной науч.-техн. конф./ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2013. С.140-142.

2.«Отчёт о металлографических исследованиях паяных соединений электронных модулей», ОАО «Авангард» //Санкт-Петербург 2012.

3.Справочники «Надежность электрорадиоизделий» (РД В 319.01.20-98), «Надежность ЭРИ ИП», разработанные 22 ЦНИИ МО при участии РНИИ «Электростандарт» и АО «Стандартэлектро».

4. IPC-SM-785. «Руководящие указания по ускоренным методам испытаний на надежность паяных соединений технологии поверхностного монтажа».