

Проблемы проведения испытаний микросхем в металлополимерных корпусах типа BGA

Смирнов К.К.*, Сухов А.Г., Цимбалов А.С.*****

Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, Нахимовский проспект, 36, корп.1, Москва, 117218, Россия

*e-mail: mail@konstantinsmirnov.com

**e-mail: Aleksey_Sukhov@srisa.ru

***e-mail: Andrey_Tsimbalov@srisa.ru

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при производстве микросхем специального назначения в металлополимерных корпусах с шариковыми выводами типа BGA (*Ball Grid Array*). Проанализированы причины снижения прочности выводов на различных этапах производства и испытаний, предложена и апробирована методика, позволяющая минимизировать снижение прочности выводов. Приводятся обоснованные аргументы в пользу переноса формирования шариковых выводов из процесса производства ИМС в процесс сборки печатных узлов.

Ключевые слова: металлополимерные BGA-корпуса, прочность крепления выводов, испытание микросхем, электротермотренировка, термоциклирование, функциональный контроль.

Введение

Современный этап развития элементной базы связной аппаратуры, средств

вычислительной, специальной и другой электронной техники двойного назначения [9] предъявляет повышенные требования к ее быстродействию и функциональности [8]. Стремление разработчиков в максимальной степени удовлетворить указанным требованиям привели к созданию семейства интегральных микросхем (ИМС) в корпусах *BGA* (*Ball Grid Array*) и *LGA* (*Land Grid Array*), число выводов в которых может превышать 2000.

Контактные площадки в обоих типах корпусов расположены на нижней плоскости корпуса, хотя конструктивное исполнение *выводов* различное. У корпусов типа *BGA* на контактных площадках сформированы шариковые выводы из припоя. В отличие от корпусов типа *BGA*, выводы корпусов типа *LGA* – штыревые. Некоторые конструкции корпусов *BGA* имеют небольшие углубления, в которых располагаются контактные площадки, предназначенные для установки шариковых выводов. Глубина углубления составляет доли миллиметра. Данная конструкция получила обозначение *Dimpled BGA* (покрытый впадинами) или *DBGA* и активно внедряется рядом производителей, например фирмой *Kyocera Corporation*. Крепление шарикового вывода в корпусе типа *DBGA* иллюстрирует фотография на рисунке 1.



Рисунок 1. Крепление шарикового вывода в корпусе типа *DBGA*.

В металлополимерных корпусах с подложкой из ламината на основе бисмалеимида триазина контактные площадки для шариковых выводов могут быть глубже нижней поверхности корпуса на толщину паяльной маски. Она составляет порядка 70 мкм. Таким образом, до формирования шариковых выводов, ИМС в корпусах *BGA* и *LGA* конструктивно весьма схожи.

Установка, или формирование шариковых выводов является последней операцией сборки ИМС в корпусах типа *BGA*. Согласно действующим в настоящее время нормативным документам, все виды испытаний ИМС происходят уже после установки выводов.

Интегральные микросхемы, предназначенные для ответственных промышленных применений, при производстве подвергаются электротермотренировке (ЭТТ) и стопроцентному функциональному контролю в диапазоне рабочих температур. Суть электротермотренировки заключается в выявлении скрытых дефектов за счёт работы ИМС при повышенной температуре в течение нескольких десятков часов.

При испытаниях ИМС серии 1890 в металлополимерных корпусах типа 8114.680-1 были отмечены многократные случаи отрыва шариковых выводов. Отрывы происходили на различных этапах испытаний, но наиболее часто при проведении функционального контроля (ФК) в диапазоне температур после ЭТТ. Отрывы выводов приводили к необходимости браковать фактически годные ИМС на финишном этапе испытаний. Кроме того, отрывы происходили в процессе транспортировки годных ИМС потребителю и в процессе пайки ИМС на печатные

платы. Для устранения таких отрывов потребовались дополнительные исследования.

Предлагаемый метод. Проведенный авторами анализ литературных источников по вопросу прочности паяных соединений [1,3,5,7], позволил сделать предположение, что прочность выводов может снижаться и даже разрушаться из-за образования паразитных интерметаллидных соединений вблизи границы припоя и контактной площадки из-за длительной выдержки при высокой температуре на этапе ЭТТ. Восстановлению прочности соединений могло бы помочь полное повторное оплавление шариковых выводов. Для проверки данного предположения, было проведено опытное оплавление выводов ИМС 1890КПЗЯ после ЭТТ перед функциональным контролем.

Для проведения оплавления был выбран стандартный температурный профиль [4], приведённый на рисунке 2. В эксперименте использовалась печь конвекционного оплавления *ERSA HOTFLOW2/14*.

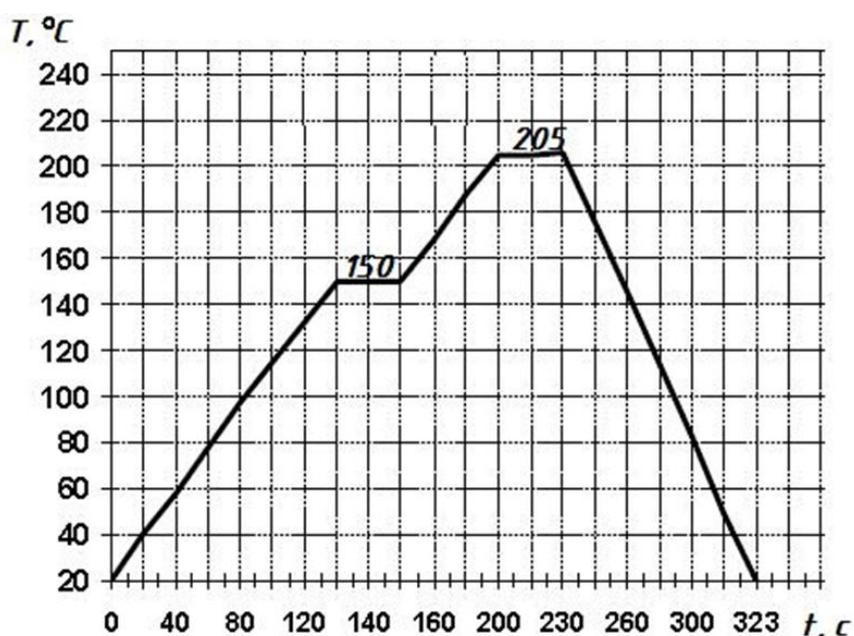


Рисунок 2. Зависимость температуры от времени при оплавлении.

Результаты эксперимента, приведенные в таблице 1 и на рисунке 3, показали, что операция ЭТТ снижает прочность крепления выводов на 26%. Увеличение усилия сдвига выводов ИМС после ЭТТ, вызванное их оплавлением, составило 71% (строка «Изменение 2» табл.1) относительно состояния после ЭТТ и 26% - относительно исходного состояния. Результаты получены для 5 ИМС усреднением значений усилия сдвига 20 рядов по 5 выводов. Усилие сдвига измерялось на установке проверки прочности монтажа DAGE-4000.

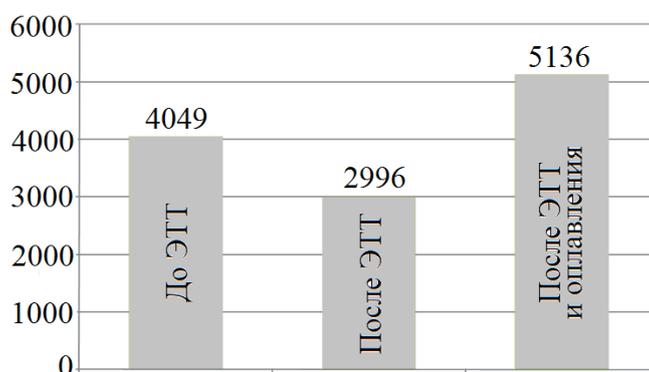


Рис. 3. Усилие сдвига шариковых выводов на различных этапах маршрута испытаний.

Таблица 1

Усилие сдвига шариковых выводов на различных этапах маршрута испытаний.

| | До ЭТТ | После ЭТТ | После ЭТТ и оплавления |
|----------------------|--------|-----------|------------------------|
| Усилие сдвига, грамм | 4049 | 2996 | 5136 |
| Изменение 1 | 100% | -26% | +27% |
| Изменение 2 | – | 100% | +71% |

При попытке сдвинуть выводы вручную после оплавления иногда происходил отрыв печатной контактной площадки корпуса. Данный факт в литературе ранее не отмечался. Отрыв контактной площадки иллюстрирует фотография на рисунке 4.

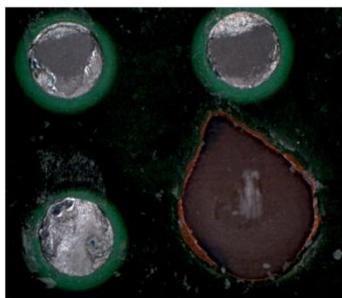


Рис. 4. Отрыв контактной площадки при контроле прочности выводов.

На рисунке 5 представлены фотографии срезаемых и отскочивших при измерении усилия сдвига выводов до и после оплавления. Здесь отчётливо видно, что площадки под отскочившими выводами не оплавилась. Это свидетельствует в пользу предположения, что отрыв выводов происходит по некоторому паразитному промежуточному слою. Исследование состава этого слоя выходит за рамки данной работы.

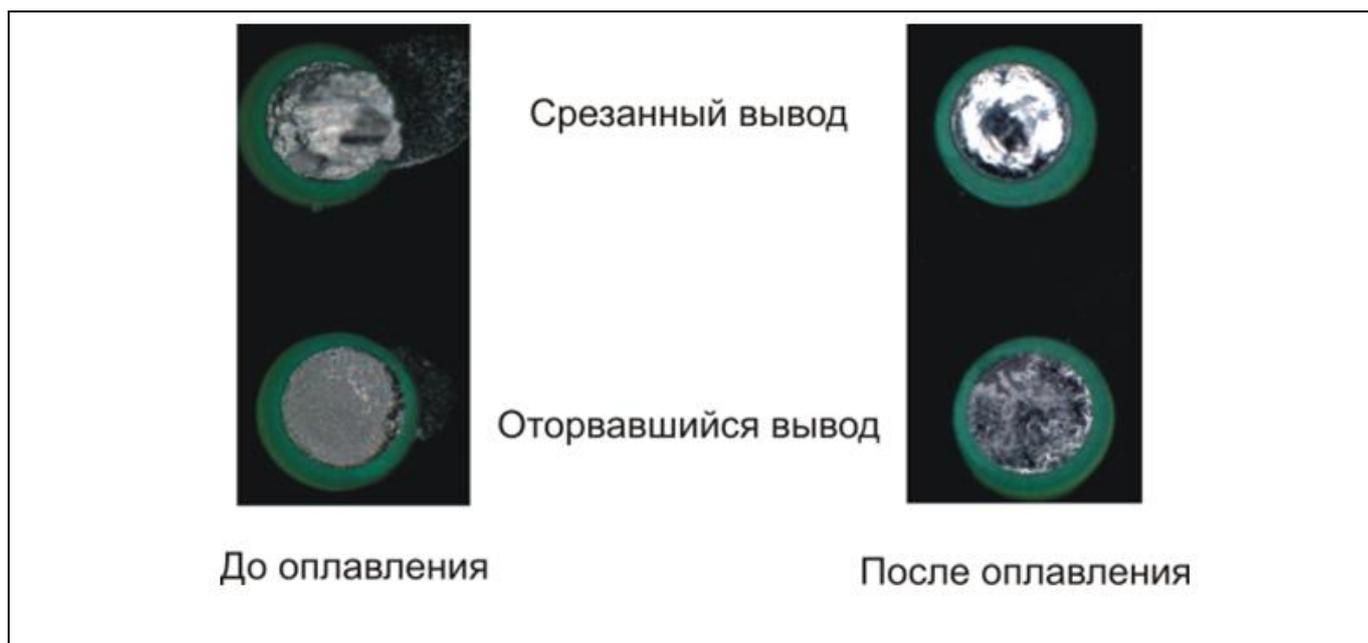


Рис. 5. Контактные площадки с оторвавшимися и срезанными выводами до и после оплавления.

На втором этапе исследований предстояло определить оптимальную позицию операции оплавления ИМС в корпусах типа 8114.680-1 в технологическом маршруте отбраковочных испытаний. Последний предполагает следующие температурные воздействия:

- предварительная термообработка,
- испытание на воздействие термоциклов
- собственно электротермотернировка.

Для проведения эксперимента были сформированы четыре группы ИМС 1890ВМ7Я по три ИМС в каждой группе.

Первая группа была подвергнута оплавлению перед термообработкой и испытанием на воздействие термических циклов, то есть, в начале технологического маршрута. Для этой группы увеличение усилия сдвига на выходе составило 8%, относительно исходного, что значительно меньше, чем в первом эксперименте. Результаты испытаний первой группы ИМС, представленные на рисунке 6, получены усреднением по сдвигу 20 рядов по 5 выводов для трёх ИМС в каждой группе.



Рис. 6. Влияние операции оплавления на усилие сдвига выводов ИМС первой группы в начале маршрута.

Вторая группа была оплавлена после ЭТТ. Прирост усилие сдвига составил 24%. При анализе результатов групп 1 и 2, было отмечено, что для ИМС 1890ВМ7Я данной партии снижения прочности от операции ЭТТ нет, а присутствует даже небольшое увеличение. Аналогичный эффект дают и термоциклы. Отдельными исследованиями было установлено, что влияние термоциклирования и ЭТТ на прочность выводов не только нестабильно по значению, но и меняет знак, причем указанные изменения происходят как от партии к партии одного типа ИМС, так и между ИМС разных типов в одинаковых корпусах. Предположительной причиной этого являются отклонения в технологическом процессе первоначальной установки выводов. Изменение усилие сдвига для группы 2 представлено на рисунке 7.

Третья группа была оплавлена до и после операции ЭТТ. Окончательный прирост усилия сдвига составил 25%. Это значение не сильно отличается от показателя группы 2. Однако, в этом случае ИМС проходят операцию ЭТТ со значительно упрочнёнными выводами. Это почти гарантирует сохранность ИМС и дорогостоящих контактирующих устройств в процессе этой операции.

Изменение усилия сдвига для группы 3 представлено на рисунке 8.

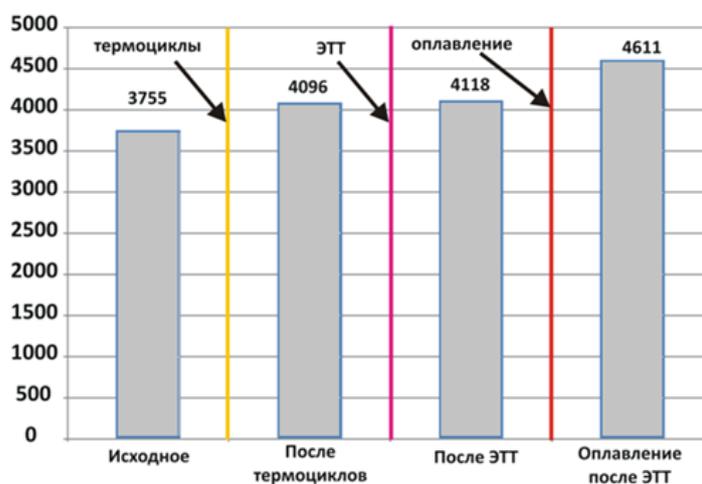


Рис. 7. Влияние операции оплавления на усилие сдвига выводов ИМС второй группы после ЭТТ.

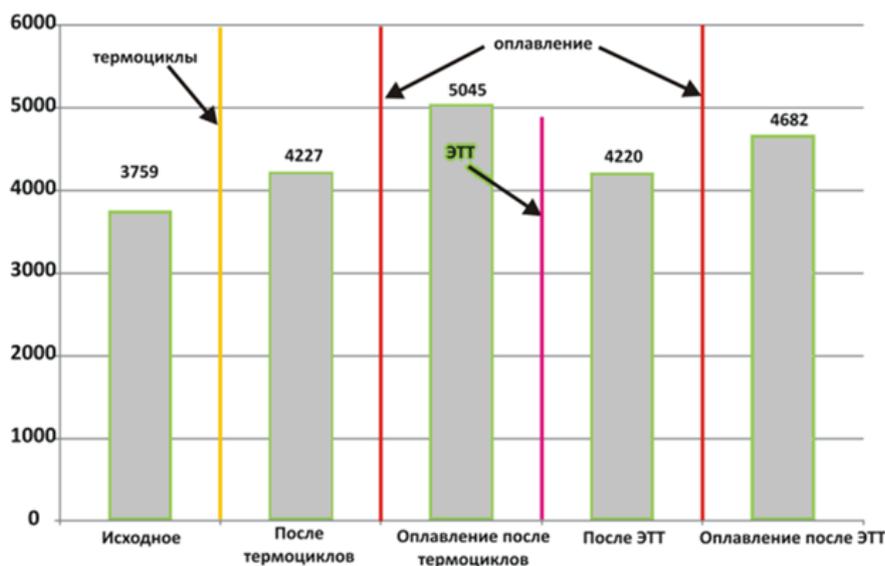


Рис.8. Влияние операции оплавления на усилие сдвига выводов ИМС третьей группы до и после ЭТТ.

Четвёртая группа была сформирована для проверки воздействия оплавления на результаты функционального контроля и была оплавлена три раза. Для этой группы после каждой операции оплавления был проведён функциональный контроль, который показал полное отсутствие влияния операции на электрические и функциональные свойства ИМС.

На рисунке 9 представлено увеличение усилия сдвига для групп 2 и 3. Из этой диаграммы следует, что прирост в обоих случаях сравним, но двукратное оплавление существенно снижает риск повреждения контактирующих устройств при электротермотренировке.

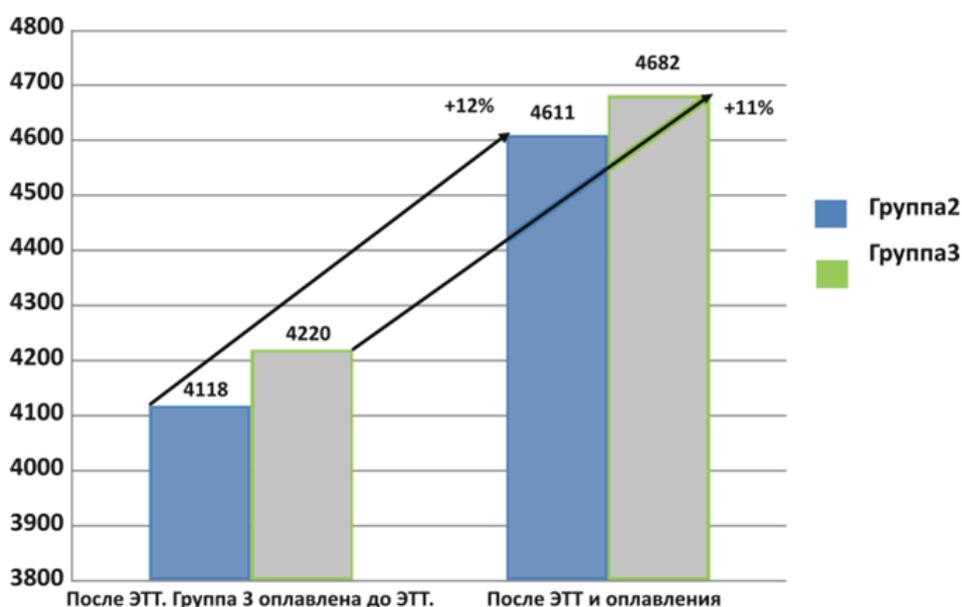


Рисунок 9. Влияние оплавления до и после ЭТТ (группа 3) и только после ЭТТ (группа 2) на усилие сдвига выводов.

В табл.2 приведены сводные результаты увеличения усилия сдвига для первых трёх групп ИМС.

Сводные результаты увеличения усилия сдвига для первых трёх групп ИМС

| Усилие сдвига, Гр. | Группа | | |
|--------------------|--------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Исходное | 3776 | 3732 | 3759 |
| После эксперимента | 4064 | 4611 | 4682 |
| Прирост | 8% | 24% | 25% |

В процессе апробирования технологии оплавления на разных типах ИМС было отмечены значительные колебания как исходных значений усилия сдвига, так и его прироста. Хотя такое обстоятельство известно, для его подтверждения был проведен отдельный эксперимент. Он показал, как отличается прочность выводов у разных типов ИМС в корпусах BGA680 и как она меняется после повторного оплавления в самом начале маршрута испытаний, так как влияние возможных отклонений в проведении термообработки, термоциклирования и электротермотренировки исключаются только в этом случае. Для исследования были отобраны по пять ИМС 1890BM6Я, 1890BM7Я, 1890BG18Я и 1890KP3Я. ИМС каждого типа отбирались в рамках отдельной партии. Результаты данного эксперимента представлены на рисунке 10 и в таблице 3.

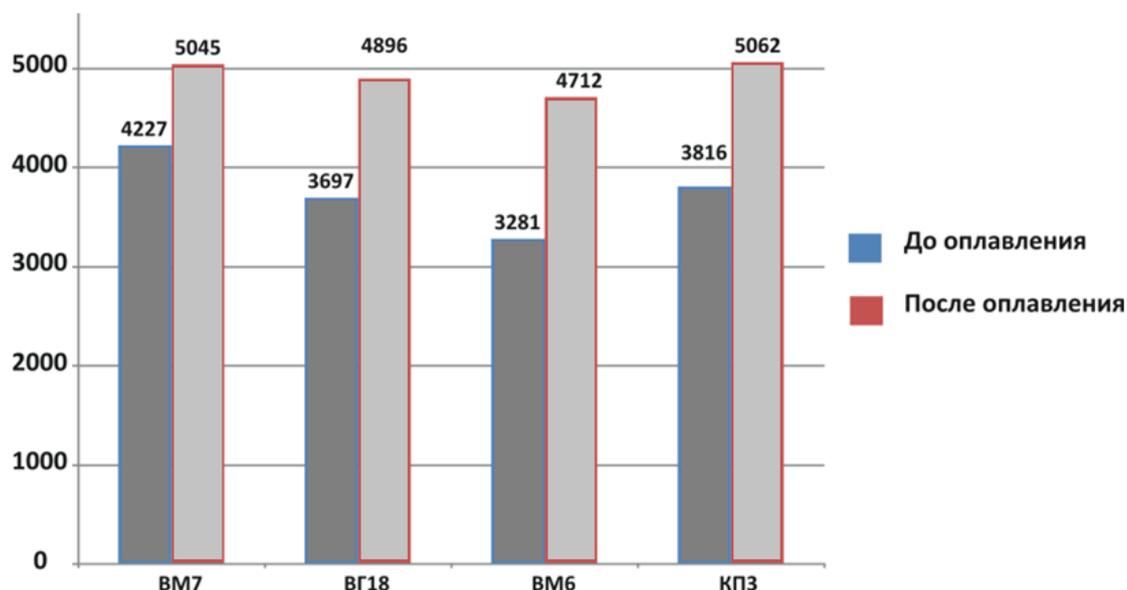


Рис.10. Увеличение усилия сдвига после оплавления для ИМС различных типов

Таблица 3

Увеличение усилия сдвига после оплавления для ИМС различных типов.

| Усилие сдвига, грамм | Тип ИМС | | | |
|------------------------|----------|-----------|----------|----------|
| | 1890BM7Я | 1890BG18Я | 1890BM6Я | 1890KP3Я |
| Исходное | 4227 | 3697 | 3281 | 3816 |
| Отклонение от среднего | 11% | -2% | -14% | 2% |
| После эксперимента | 5045 | 4896 | 4712 | 5062 |
| Отклонение от среднего | 2% | -1% | -5% | 3% |
| Прирост | 19% | 32% | 44% | 33% |

Из полученных результатов следует, что прочность крепления шариковых выводов различных типов ИМС перед началом испытаний различается очень существенно. Размах отклонения на измеренных партиях составляет 25%. Причиной этого может быть как нестабильность технологического процесса установки выводов, так и различия в продолжительности хранения ИМС после

установки выводов до начала испытаний. Последнее обстоятельство требует отдельного исследования и выходит за рамки данной работы.

После оплавления, разница в прочности выводов существенно снижается и составляет 7%. Таким образом, оплавление даёт наиболее существенный прирост прочности выводов для партий с исходно наихудшими показателями.

В работах [2, 6] показано, что корпуса типа BGA при испытаниях в нормальных условиях приводят к весьма быстрой и необратимой деградации контактирующих устройств. При испытаниях на граничных температурах такая деградация многократно ускоряется. При стоимости контактирующих устройств с числом выводов более полутысячи в несколько сотен долларов, проблема приобретает существенное коммерческое значение.

Проведенные эксперименты показывают, что проведение отбраковочных испытаний для ИМС специального назначения в металлополимерных корпусах типа BGA с установленными шариковыми выводами в принципе нежелательно. Проведение испытаний до установки выводов позволяет избежать проблем с контактирующими устройствами на всех этапах испытаний и снимает проблему удаления отшелушившихся частиц припоя с технологического оборудования в чистых помещениях. Такой подход требует, однако, изменения методики испытаний и введения окончательного функционального контроля после установки выводов, что не всегда возможно.

Выводы

1. Повторное оплавление шариковых выводов на любом этапе технологического маршрута повышает прочность их крепления, причем

наибольший прирост прочности выводов отмечается при проведении повторного оплавления после проведения этапа электротермотренировки.

2. Прирост прочности крепления выводов отмечен также при проведении оплавления до и после электротермотренировки, причем величина указанной прочности для разных типов ИМС значительно отличается, а максимальный ее прирост отмечен на исходно самых слабых по прочности выводах партий.

3. После оплавления все типы ИМС показали весьма схожие данные по усилию сдвига, что свидетельствует об устранении причины снижения прочности выводов.

4. Внешний вид контактных площадок с оторвавшимися и срезанными выводами до и после оплавления подтверждает предположение о существовании паразитных интерметаллидных слоев.

5. После дополнительного оплавления шариковых выводов: а) контроль их геометрии не выявил отклонений от исходного состояния, и б) функциональный контроль не выявил изменения электрических параметров ИМС.

Полученные результаты позволяют рекомендовать включение в технологический маршрут производства металлополимерных корпусов типа BGA промежуточную и, возможно финишную, операцию оплавления выводов с целью повышения прочности их крепления.

Библиографический список

1. Лякишев Н.П. Диаграммы состояний двойных металлических систем. - М.: Машиностроение, 2001. – 872 с.

2. Ко Ч.М., Чень М.К., Хуанг Ю.Ц., Фу Ш.Л. Надёжность тестирования BGA-компонентов // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 4. С. 38-42.
3. Bogatin E. Roadmaps of Packaging Technology. / Editors Potter Dick, Peters Laura. – Scottsdale, AZ: Integrated Circuit Engineering Corporation, 1997.
4. IPC stands for Association Connecting Electronics Industries. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. IPC/EIA J-STD-001D (Requirements for Soldered Electrical and Electronic Assemblies). URL: [https://www.acronymfinder.com/Association-Connecting-Electronics-Industries-\(formerly-Institute-of-Interconnecting-and-Packaging-Electronic-Circuits\)-\(IPC\).html](https://www.acronymfinder.com/Association-Connecting-Electronics-Industries-(formerly-Institute-of-Interconnecting-and-Packaging-Electronic-Circuits)-(IPC).html)
5. Материалы для пайки и ремонта печатных плат. - М.: ОСТЕК, 2013. - 96 с.
6. Chen M.K., Tai C.C., Huang Y.J., Fang L.K. Electrical characterization of BGA test socket for high-speed applications. // Proceedings of the 4th International Symposium on Electronic Materials and Packaging. Kaohsiung. Taiwan. 2002, pp. 123-126.
7. Муонио Дж., Стадем Р. Лазерная пайка шариков припоя в BGA // Печатный монтаж. 2008. № 6. URL: <http://www.circuitry.ru/journal/article/2321>
8. Дембицкий Н.Л, Луценко А.В., Фам В.А. Экспертная система технологической подготовки процесса сборки и монтажа узлов бортовой радиоаппаратуры // Труды МАИ. 2015. № 83. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=62213>

9. Добряков В.А., Енгальчев А.Н., Назаров А.В. Начальное размещение базовых элементов комплементарных металл-окисел-полупроводниковых больших интегральных схем методом случайных назначений // Труды МАИ. 2014. № 72. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=47562>