

Еще раз о реболлинге (из записок практикующего технолога)

Причиной, побудившей автора вернуться к этой, не раз уже обсуждавшейся в профессиональной литературе теме, стало большое количество вопросов как разработчиков-конструкторов электронных модулей, так и технологов сборочно-монтажного производства, что свидетельствовало о некотором смятении в умах относительно правильной практики применения микросхем в корпусах BGA, CSP и аналогичных им.

Илья Лейтес

leytes@nicevt.ru

Итак:

1. Операция установки новых шариков (реболинг) является стандартным этапом при ремонте (замене, повторном монтаже) микросхем в корпусе BGA в собранных электронных модулях. Она поддерживается наличием отработанных техпроцессов, соответствующих расходных материалов и специального технологического оборудования. Стандарты допускают как минимум двукратную перепайку микросхем при условии соблюдения температурного режима и требований MSL (уровня чувствительности компонента к влаге).
2. Вследствие ограниченной доступности компонентов с традиционным эвтектическим оловянно-свинцовым составом шариковых выводов возникает потребность замены бессвинцовых шариков (Pb-free) на эвтектические свинцово-оловянные.
3. Это, в свою очередь, связано с требованием повышенной надежности паяных соединений в РЭА специального применения (Pb-free пайка необходимую надежность обеспечить не может).

В настоящее время широкое применение получила так называемая смешанная пайка. Оловянно-свинцовой эвтектикой в качестве припоя (в том числе в составе припойной пасты при поверхностном монтаже) паяются, как компоненты с финишным покрытием оловянно-свинцовой эвтектикой и, полностью обратно совместимым, покрытием ENIG (ENEPIG), так и компоненты с финишным бессвинцовым покрытием (чаще всего это 100% Sn). При пайке выводных компонентов с бессвинцовым финишным покрытием металлургия паяного соединения определяется припоем (то есть в результате пайки формируется паяное соединение, близкое к эвтектическому составу припоя с незначительным сдвигом в сторону свинца, имеющее достаточно высокую надежность). При пайке же компонентов в корпусах BGA металлургия паяного соединения определяется материалом бессвинцового шарикового вывода (то есть в результате пайки формируется бессвинцовое паяное соединение, «отравленное» свинцовой примесью из состава припоя, — самый

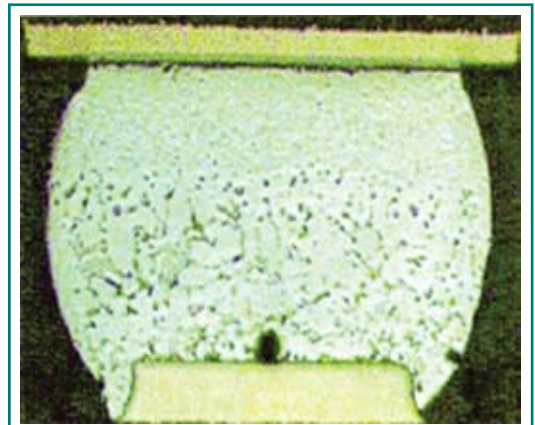


Рисунок. Неоднородная структура паяного соединения шарикового вывода BGA Sn100 и припоя Sn63 (высокая вероятность образования трещин на границе с контактной площадкой)

худший из возможных вариантов сочетаний свинцовых и бессвинцовых припоев и покрытий (рисунок)).

Именно поэтому для обеспечения надежного паяного соединения необходимо проводить реболинг шариковых бессвинцовых выводов компонентов BGA.

Поскольку автор постоянно сталкивается с тем, что его коллеги недопонимают разницу между качеством и надежностью, нужно остановиться и на этом аспекте. Технически возможно обеспечить качество паяного соединения (оно, в первую очередь, определяется смачиванием — наличием галтелей) при любом сочетании вида припоя и финишного покрытия, и это является зоной ответственности технолога. Надежность же — это сохранение качества в процессе всего жизненного цикла изделия, в процессе всех эксплуатационных воздействий, предусмотренных тактико-техническими характеристиками аппаратуры. Для паяных соединений надежность зависит от правильного выбора сочетания припоя и финишного покрытия. И это уже является зоной ответственности конструктора. И именно для обе-

Таблица 1. Условная классификация надежности паяных соединений

Степень надежности (в баллах)	Сочетание припоя и финишного покрытия	Характеристики	Возможность использования в спецтехнике
5	Эвтектическое (Sn-Pb) покрытие + эвтектический припой	Традиционная технология пайки Максимальная надежность паяных соединений	Разрешено
4	Бессвинцовое (Pb-free) покрытие + эвтектический (Sn-Pb) припой Масса покрытия << массы припоя	Незначительное снижение прочности за счет небольшого уменьшения пластичности из-за отклонения от эвтектики	Разрешено
3	Бессвинцовое (Pb-free) покрытие + бессвинцовый припой	Полная совместимость с требованиями директивы RoHS Возможность появления «усов» Уменьшенная термоциклионная стойкость (низкая пластичность, интерметаллиды) Увеличение числа дефектов Пониженная надежность	Не разрешено
2	Бессвинцовое (Pb-free) покрытие + эвтектический (Sn-Pb) припой Масса покрытия > массы припоя (шарики BGA)	Существенное снижение прочности из-за значительного отклонения от эвтектического состава	Не разрешено
1	Эвтектическое (Sn-Pb) покрытие + бессвинцовый припой	Существенное снижение прочности из-за так называемого «свинцового отравления» Pb-free-припоя	Не разрешено

спечения надежности необходим реболлинг бессвинцовых шариковых выводов BGA.

Часто при обсуждении проблемы необходимости реболлинга можно услышать от пользователей собранных электронных модулей замечание-возражение, что, мол, после реболлинга теряется гарантия на микросхему. Здесь трудно что-либо возразить: гарантия действительно теряется. При этом, во-первых, многие забывают, что микросхему промышленного назначения пытаются использовать не по назначению (в спецтехнике), а во-вторых, непонятно, зачем нужна гарантия на микросхему, у которой при эксплуатации разваливаются паяные соединения выводов с МПП. Что будут делать с этой гарантией?

Для большей наглядности в таблице 1 приведена условная классификация надежности паяных соединений для разных сочетаний припоя и финишных покрытий (по 5-балльной системе).

Вообще, проблема замены шариков (реболлинга) сводится к решению двух технических задач:

1. Обеспечение сохранения паяемости на контактных площадках корпуса BGA (интерпозера).
2. Обеспечение (сохранение) функционирования самой микросхемы при дополнительных технологических термоударных воздействиях во время техпроцесса реболлинга.

Рассмотрим каждую из этих задач по отдельности.

1. Финишным покрытием на корпусе (интерпозере) BGA, как правило, бывает либо ENIG (ENEPIG), либо иммерсионное олово. Первое не имеет ограничений по паяемости, так как имеет барьерный слой никеля, который, если облудился сразу, то далее сохраняет паяемость достаточно долго. Иммерсионное олово, имея толщину 0,5–0,6 мкм, сохраняет паяемость до тех пор, пока на всю толщину не превратится в интерметаллид «медь-олово». Процесс формирования интерметаллида при нормальных условиях имеет скорость ~0,1 мкм в месяц. Таким образом, обычное покрытие иммерсионного олова сохраняет паяемость ~6 месяцев. Новые покрытия иммерсионным оловом сохраняют

паяемость существенно дольше. Испытания покрытия иммерсионным оловом, нанесенным по техпроцессу Stannotech фирмы «Атотех» на поверхность МПП, проведенные в НИЦЭВТ, показали сохранение паяемости этого покрытия в течение года хранения в складских условиях после воздействий в объеме периодических испытаний по 3-й группе жесткости ГОСТ 23752. То есть для этого покрытия процесс формирования интерметаллидов, по-видимому, происходит существенно медленнее.

2. Для обеспечения должного функционирования микросхемы необходимо, прежде всего, выполнить условия сушки корпуса в соответствии с требованиями чувствительности компонента к влаге (заданного уровня MSL). Эти требования изложены в стандарте IPC J-STD 020C. Срок возможности монтировать (паять) компонент без предварительной сушки определяет период времени после вскрытия защищенной от влажности вакуумной упаковки до момента пайки. Наивысший уровень (MSL1) означает, что компонент не требует ни специальной упаковки, ни температурной обработки перед процессом монтажа, а также имеет неограниченный срок годности. Основные ограничения приведены в таблице 2.

Следующим условием обеспечения функционирования микросхемы является недопущение превышения максимально допустимой температуры корпуса (pick body temperature, PBT):

Таблица 2. Срок возможности монтировать (паять) компонент без предварительной сушки после вскрытия упаковки в зависимости от уровня MSL

MSL	Срок годности	Условия
1	Не ограничен	≤30 °C/85% RH
2	1 год	≤30 °C/60% RH
2a	4 недели	
3	168 ч	
4	72 ч	
5	48 ч	
5a	24 ч	
6	Время, указанное на этикетке	

- Для бессвинцовых компонентов PBT — +260 °C.
- Для установки шариков из оловянно-свинцовой эвтектики (ПОС-61, Sn63, Sn62) на припойную пасту, содержащую припой в виде такой же оловянно-свинцовой эвтектики или флюс-клей, необходима температура +220...230 °C.

Снижение температуры на каждые 10 °C (по теореме Аррениуса) снижает скорость деградационных процессов в два раза. Таким образом, теоретически установка новых шариков из свинцово-оловянной эвтектики (реболлинг) если и снижает ресурс микросхемы, то очень незначительно, так же как и последующая процедура пайки микросхемы в электронном модуле.

Из всего вышесказанного следует, что:

1. Реболлинг имеет право на существование и просто необходим при использовании бессвинцовых микросхем в спецтехнике, особенно при смешанной пайке.
2. Грамотно проведенная процедура реболлинга бессвинцовой микросхемы не снижает сколько-нибудь заметно ее ресурса.
3. Решение о необходимости реболлинга должен принимать конструктор, исходя из условий эксплуатации электронного модуля и требований по обеспечению надежности.
4. Для принятия адекватного решения о реболлинге полезно знать металлургию шарикового вывода микросхемы, тип финишного покрытия контактной площадки корпуса и уровень MSL микросхемы.

Автор надеется, что изложенные в этой статье конструктивно-технологические подходы к реболлингу будут полезны специалистам для принятия практических решений в их профессиональной деятельности.