

## РЕБОЛЛИНГ И ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Илья Лейтес, гл. технолог ОАО НИЦЭВТ, leytes@ nicevt.ru

*Обеспечение высокой надежности электронных модулей (для критически важных приложений), работающих в жестких условиях эксплуатации, требует применения особых методов пайки соединений. В статье обсуждаются вопросы применения BGA микросхем с бессвинцовыми шариками в устройствах с повышенными требованиями к надежности путем использования реболлинга при монтаже BGA-компонентов.*

Реболлинг – замена шариковых выводов у микросхем в корпусе типа BGA (Ball Grid Array). Проблема замены (восстановления) шариковых выводов BGA-корпуса возникла в связи с необходимостью выполнения демонтажа/монтажа (перепайки) микросхем данного типа в случае, например, необходимости устранения короткого замыкания между выводами. Оборудование и технология этой операции отработаны и в настоящее время существует несколько технологических схем, из которых наиболее совершенной, по-видимому, является следующая.

- После демонтажа микросхемы производится очистка (удаление остатков припоя) контактных площадок; затем на контактные площадки трафаретом (или дозатором) наносится припойная паста.
- На пасту устанавливаются готовые шарики (их можно приобрести как расходный материал).
- Проводится цикл оплавления по стандартному тепловому профилю.

В результате выполнения этих операций микросхема считается восстановленной и готовой к следующему циклу пайки.

В связи с введением в 2006 году в Европе и некоторых других регионах директивы ROHS (Ограничение применения вредных веществ) в решении задачи реболлинга возникли новые проблемы, связанные с возможностью смешанной комплектации электронных модулей. Смешанная комплектация – это наличие в составе комплектующих электрорадиоэлементов (ЭРЭ) как со свинецсодержащим покрытием, так и с бессвинцовым покрытием выводов.

Необходимо подчеркнуть, что вопросы, рассматриваемые в данной статье, касаются только электронных модулей спецприменения, т.е. устройств, к которым предъявляются повышенные требования по надежности при жестких условиях эксплуатации в течение длительных гарантийных сроков. В частности, речь идет о военной, аэрокосмической, медицинской и сложной вычислительной технике, т.е. аппаратуре, отказ которой может привести к катастрофическим последствиям.

Ввиду особых требований к таким модулям, их комплектация вообще не должна в своем составе содержать так называемые бессвинцовые компоненты, поскольку надежность бессвинцовых паяных соединений ниже традиционной пайки эвтектическими свинцово-оловянными припоем (ПОС-61, Sn 63, Sn 62).

В директиве ROHS четко определены категории изделий, на которые распространяются ограничения по применению опасных веществ. Как показывает практика, специалисты слабо знакомы с этой директивой, поэтому имеет смысл перечислить здесь те 8 категорий изделий ЕЕЕ (Electrical and Electronic Equipment), на которые она распространяется (изделия, функционирующие с напряжением, не превышающим 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока):

- крупные бытовые электроприборы;
- малые бытовые электроприборы;

- информационно-технологическое и телекоммуникационное оборудование;
- потребительское оборудование;
- осветительная аппаратура;
- электрические и электронные инструменты;
- игрушки, принадлежности для отдыха и спорта;
- торговые автоматы.

Кроме того, в директиве ROHS определены следующие изделия ЕЕЕ, на которые не распространяются ее требования:

- **изделия военного и космического применения;**
- **отдельные виды медицинского оборудования;**
- **оборудование мониторинга и контроля;**
- **крупное стационарное промышленное оборудование;**
- **изделия, входящие в оборудование, находящееся вне рамок Директивы (например, в автомобилях, поездах, самолетах);**
- изделия, входящие в раздел Fixed Installations, т.е. комбинацию нескольких видов оборудования, смонтированных для совместной работы и не поставляемые на рынок как отдельные изделия;
- аккумуляторы и батареи;
- запасные части для ремонта, обслуживания и усовершенствования оборудования, поставленного на рынок до 1-го июля 2006 г.

Вспомните крылатую фразу лесковского Левши: «Передайте царю-батюшке: англичане ружья кирпичом не чистят!»

Следует подчеркнуть, что причины появления смешанной (свинцовой и бессвинцовой) комплектации носят как субъективный, так и объективный характер. Среди этих причин можно отметить следующие.

1. Проблемы при разработке спецификации: разработчики не знают или не хотят учитывать фактор бессвинцовости.
2. Проблемы при закупке комплектующих ЭРЭ: снабженцы не знают или не хотят учитывать фактор бессвинцовости; поставщики настойчиво предлагают или по умолчанию включают в поставку бессвинцовые компоненты.
3. Непреодолимый ценовой или организационный барьер при закупке комплектации категории МП.

Что же следует предпринять разработчикам и изготовителям аппаратуры специального назначения, учитывая сложившееся положение дел, для обеспечения **действительно** высоких требований по надежности устройств?

Ответ на этот вопрос может быть следующим.

1. Свести к минимуму бессвинцовую номенклатуру ЭРЭ, используемую в разрабатываемой аппаратуре.
2. Строго требовать от поставщиков сертификации микросхем, в том числе и по номенклатуре паяемого покрытия выводов. Номенклатура бессвинцовых покрытий по IPC 1066 приведена на **рисунке 1**.

## Категории бессвинцовых материалов и их маркировка

Маркировка	Категория	Тип материала
e1	Sn/Ag/Cu	SnAgCu и их варианты
e2	Другие бессвинцовые покрытия (без Bi)	SnCu, SnAg, SnAgCuX
e3	Гальваническое Sn (все формы)	Чистое Sn
e4	Иммерсионные покрытия	Au, NiPd, NiPdAu
e5	Покрытия с Zn	Tin/Zinc = SnZn (без Bi) и варианты
e6	Покрытия с Bi	Материалы с Bi
e7	Покрытия с In	Материалы с In

Рис. 1. Категории бессвинцовых материалов и их маркировка

### 3. При наличии смешанной комплектации реализовывать мероприятия по обеспечению требуемого уровня надежности.

Последний пункт следует рассмотреть особо. Надежность паяных соединений изделия зависит от сочетания применяемых при монтаже элементов покрытия и припоев. Можно выделить несколько вариантов этих сочетаний (в порядке уменьшения надежности).

1. Пайка свинцово-оловянным припоем по такому же или полностью обратно совместимому покрытию (e4). Этот вариант является идеальным с точки зрения обеспечения надежности.
2. Пайка свинцово-оловянными припоями по бессвинцовым покрытиям (e1, e2, e3) – допустимый и наиболее приемлемый вариант в условиях смешанной комплектации. В этом случае формируются паяные соединения с несколько увеличенным (по сравнению с эвтектикой) содержанием олова, что не приводит к существенному снижению уровня надежности паяных соединений.
3. Пайка бессвинцовыми припоями по бессвинцовым покрытиям (e1, e2, e3). Этот вариант соответствует требованиям директивы ROHS, однако не рекомендуется для применения в аппаратуре с повышенными требованиями по надежности. Его можно рекомендовать только для изготовления бытовой аппаратуры, особенно в случае ее экспорта в страны, где действует директива ROHS.
4. Пайка бессвинцовыми припоями по свинецсодержащим покрытиям. Этот вариант обеспечивает самую низкую надежность. В данном случае наблюдается явление так называемого отравления свинцом бессвинцовых паяных соединений, поэтому этот вариант не рекомендуется к применению.

Из перечисленных выше вариантов видно, что наиболее приемлемым решением, который можно рассматривать в качестве альтернативы самого надежного пути

(вариант 1) является вариант 2. Поэтому именно его реализацию мы и рассмотрим подробно.

В качестве основных технологических и организационных методов, которые применяются при пайке с использованием эвтектического свинцово-оловянного припоя, можно выделить следующие.

- Минимальное использование бессвинцовых комплектующих.
- Использование комплектации с покрытием выводов с полной обратной совместимостью (e4 – для микросхем и иммерсионное золото – для печатных плат).
- Получение максимально полных и точных данных о паяемых покрытиях из сертификатов, а также используя тестовые комплекты паяемых покрытий (Lead-check) и рентгеновские анализаторы покрытий.
- Использование наиболее эффективных материалов (например, свинецсодержащая припойная паста MP218 ф. Мультикор с повышенной температурой активности флюса позволяет паять покрытия e1, e2, e3 при повышенной температуре 240...250°C). При этом необходимо учитывать снижение уровня MSL по IPC .
- Перелуживание выводов компонентов. Эта процедура известна и определена во всех зарубежных и отечественных стандартах, регламентирующих требования к выводам микросхем, покрытых гальваническим золотом. Этот процесс широко использовался в 60-80-х гг прошлого века при производстве аппаратуры спецназначения. (Оппоненты могут вспомнить о потере гарантии на микросхему. Однако, кому нужна гарантия, если пайки ненадежные?).

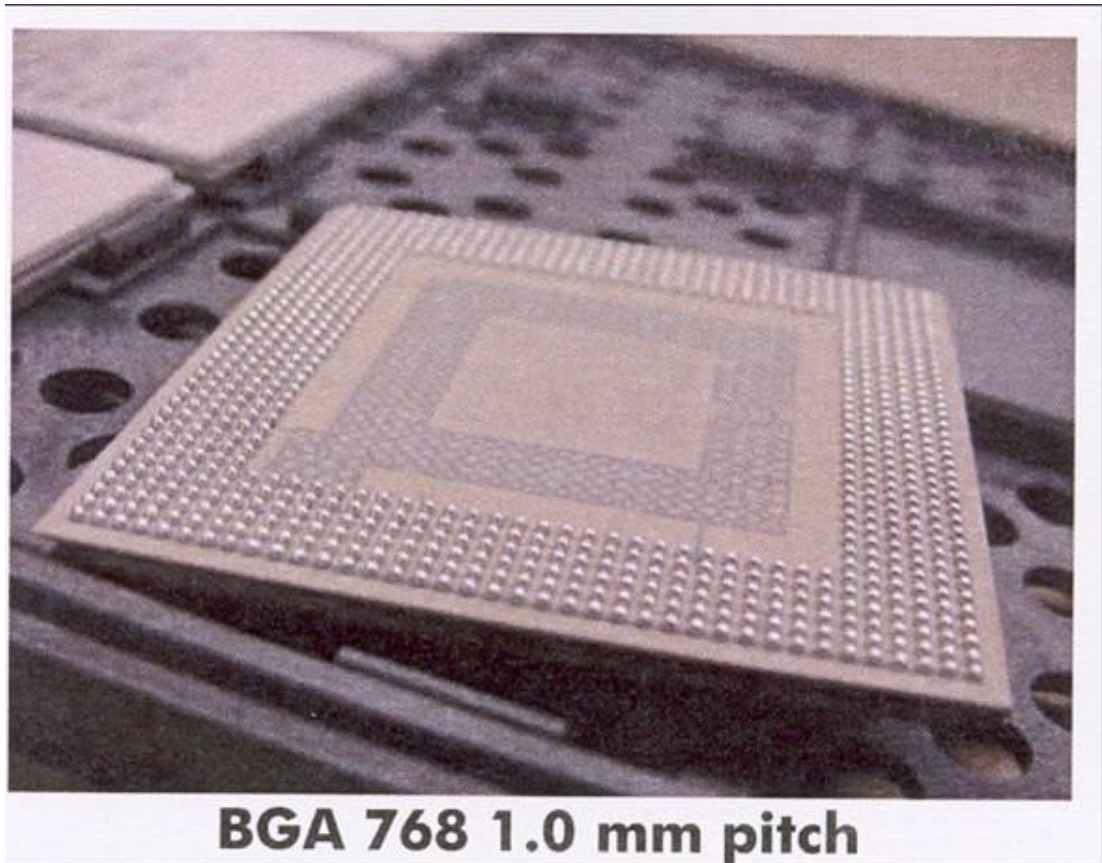
Возвращаясь к проблеме реболлинга, следует сказать, что рассматриваемый вариант сочетания покрытия и припоя, к сожалению, не применим для монтажа микросхем в корпусах BGA с бессвинцовыми шариковыми выводами. Дело в том, что именно материал шарика определяет металлургию паяного соединения и пайка бессвинцовых шариковых выводов свинецсодержащим припоем (припойной пастой) относится к варианту 4, не допустимому с точки зрения надежности.

**Таким образом, для обеспечения надежности монтажа микросхем в корпусе типа BGA с бессвинцовыми шариками альтернативы реболлингу нет.**

Рассмотрим некоторые общие положения, связанные с процессом пайки и контроля паяных соединений микросхем в корпусе BGA.

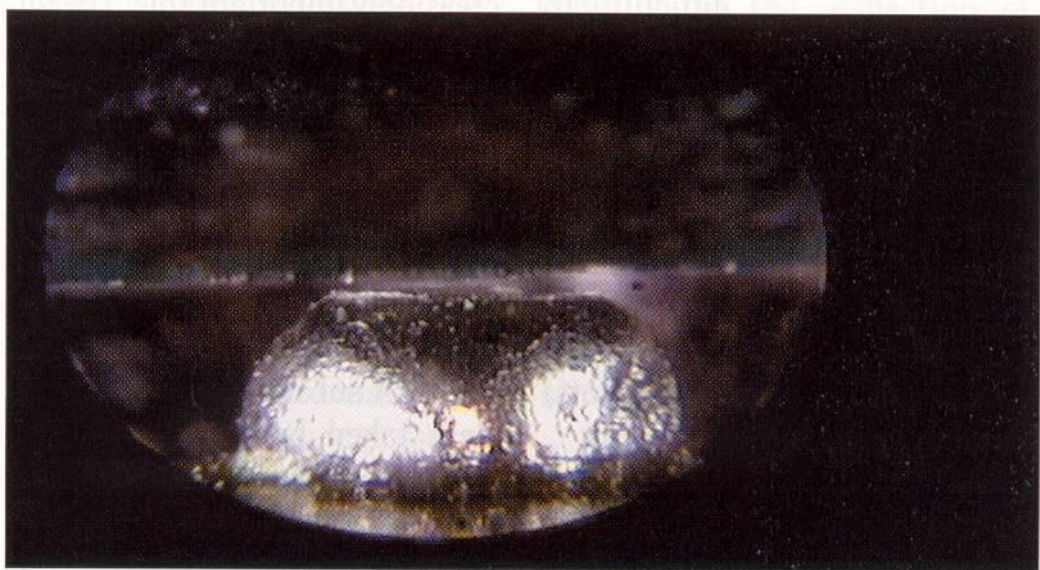
В исходном состоянии (до пайки) шариковые выводы микросхемы имеют близкую к сферической форму (см. [рис. 2](#)).





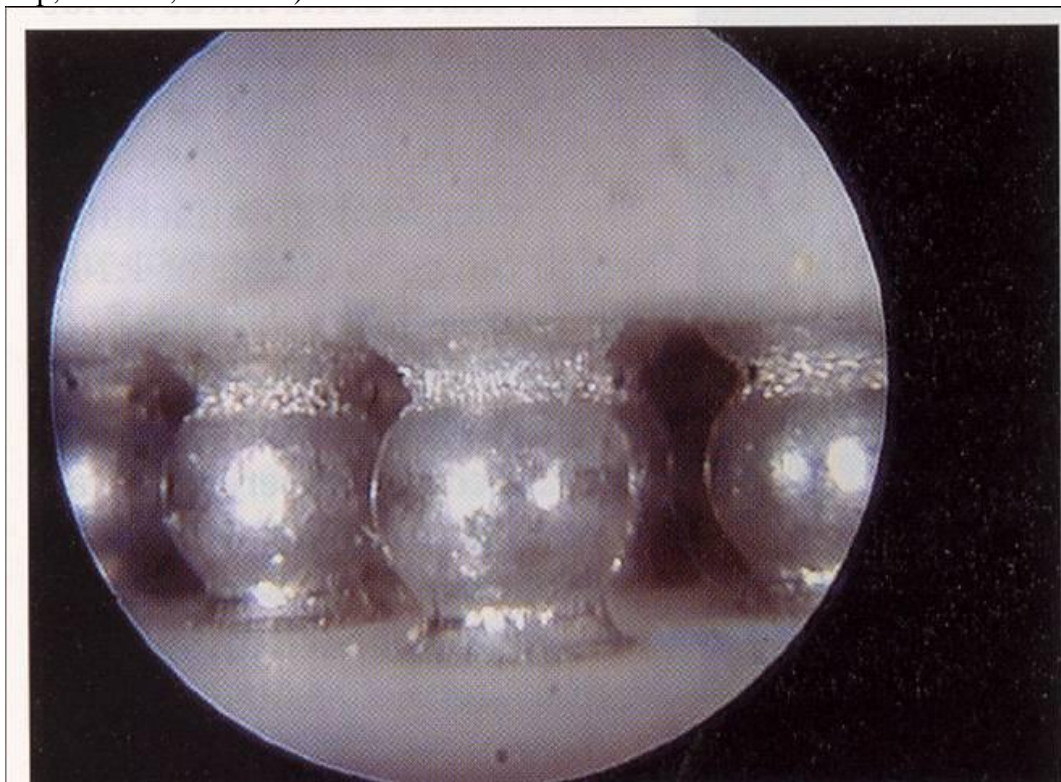
**Рис. 2. Микросхема в корпусе типа BGA с шариковыми выводами**

В процессе пайки при расплавлении материала шарика за счет сил поверхностного натяжения происходит проседание микросхемы (шариковые выводы принимают сплюснутую форму – так называемый «коллапс» шарика). В этот момент происходит самоцентрирование микросхемы относительно контактных площадок посадочного места, и «коллапс» шариков является одним из основных признаков формирования надежного паяного соединения (см. [рис. 3](#)).



**Рис. 3. «Коллапс» шарика в момент пайки микросхемы**

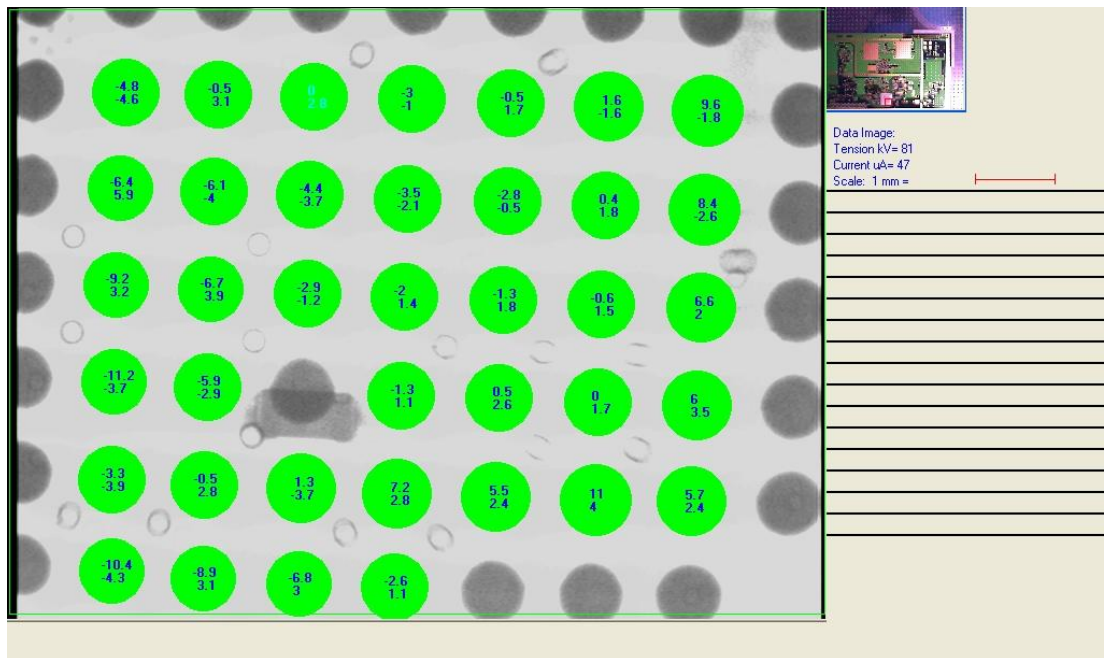
В свою очередь отсутствие проседания (см. **рис. 4**) говорит о ненадежности соединений и высокой вероятности нарушения контактов на ранних стадиях эксплуатации или уже во время наладки устройства, что подтверждается практикой. Как правило, это происходит при пайке бессвинцовых шариков с использованием эвтектического олово-свинцового припоя по стандартному температурному профилю для эвтектики с максимальной температурой 210...220°C или при пайке микросхем с неоплавляющимися шариками какого-либо менее распространенного состава (например, 90% Pb, 10% Sn).



**Рис. 4. Отсутствие проседания микросхемы во время пайки из-за ненадежного соединения шариковых выводов с контактными площадками**

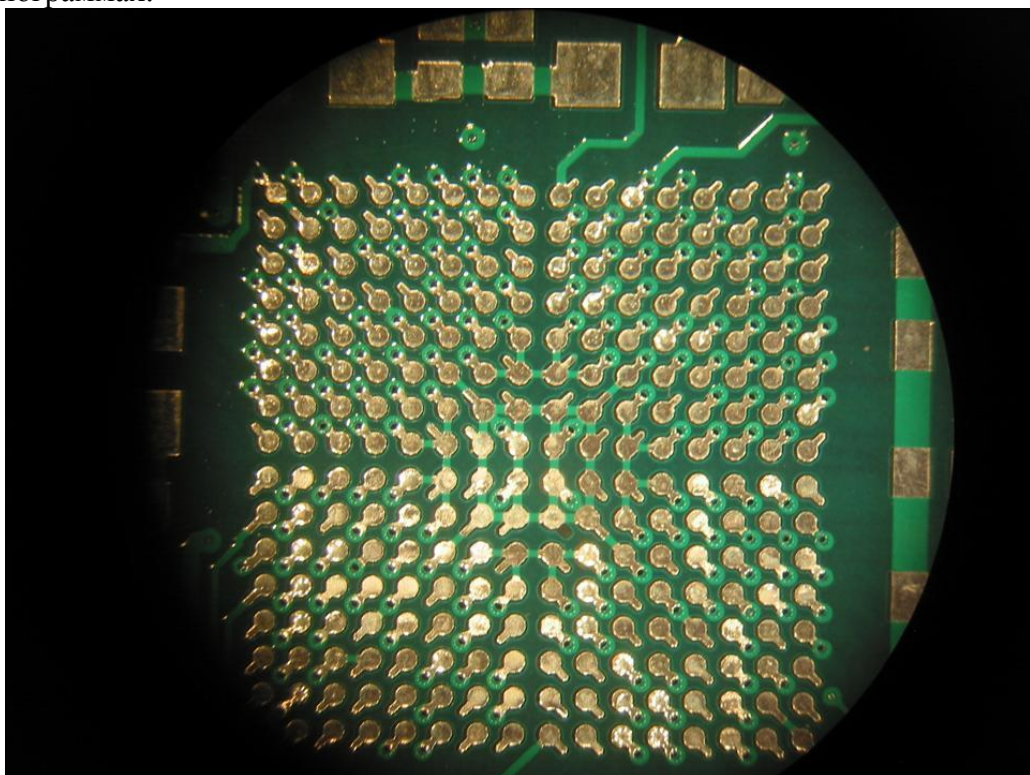
Кроме визуального контроля формы шарика и наличия галтели смачивания, эффективным методом является рентгеновский контроль пайки микросхем в корпусе BGA. Критериями качества паяных соединений при рентгеновском контроле является правильность (сферичность) формы при виде сверху, повторяемость размеров, минимальное количество пустот, наличие галтели смачивания (см. **рис. 5**).





**Рис. 5. Рентгеновский контроль качества пайки микросхем в корпусе BGA**

Последний параметр, который является определяющим при оценке качества пайки, требует наличия определенного опыта у оператора и технических возможностей оборудования по максимальному числу градаций серого при визуализации рентгенограмм. Для облегчения контроля галтели смачивания при формировании паяного соединения рекомендуется специальная адаптация посадочного места корпуса BGA (см. [рис. 6](#)), позволяющая легко определять наличие смачивания на рентгенограммах.



**Рис. 6. Адаптация посадочного места корпуса BGA для контроля наличия смачивания**

Контроль наличия трещин паяных соединений (которые могут возникнуть, как правило, на стадии эксплуатации или испытаний) производится с помощью исследовательских рентгеновских комплексов, оснащенных мощным программным обеспечением.

При пайке микросхем в корпусе BGA необходимо тщательно соблюдать требования MSL по IPC/JEDEC-J-STD-020C (см. таблицу 1).

**Таблица 1. Срок годности компонента после вскрытия упаковки в зависимости от уровня MSL по IPC/JEDEC-J-STD-020C**

MSL	Срок годности	Условия
1	неограничен	$\leq 30^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$
2	1 год	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
2a	4 недели	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
3	168 часов	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
4	72 часа	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
5	48 часов	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
5a	24 часа	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
6	Срок указан на этикетке	$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$

Срок годности компонента после вскрытия упаковки (floor life) определяет период времени с момента вскрытия защищенной от влажности вакуумной упаковки до момента пайки компонента в процессе reflow. Наивысший уровень (MSL 1) означает, что компонент не требует ни специальной вакуумной упаковки, ни температурной обработки компонента перед процессом его монтажа, а также имеет неограниченный срок годности.

В случае пайки микросхем спустя срок, превышающий допустимый после вскрытия герметичной упаковки, необходимо проводить процедуру вакуумной сушки. При пайке микросхем с традиционными свинцовыми шариками (покрытиями выводов) по термопрофилю для смешанной комплектации с повышенной максимальной температурой следует ориентироваться на уровень MSL на 2 ступени выше указанного на упаковке.

## **Заключение**

Отметим следующие основные выводы.

1. Бессвинцовая пайка не предназначена для применения в изделиях, к которым предъявляются повышенные требования к надежности и условиям эксплуатации.

2. На сегодняшний день нет возможности избежать смешанной комплектации, в том числе в электронных модулях аппаратуры специального назначения.

3. Существуют следующие методы решения проблемы смешанной комплектации, обеспечивающие приемлемые уровни надежности паяных соединений:

- использование полностью обратно совместимых паяемых покрытий;
- перелуживание микросхем с планарными выводами (желательно);
- реболлинг бессвинцовых шариков микросхем BGA (обязательно);
- использование технологии пайки смешанной комплектации припойными пастами с эвтектическим олово-свинцовым припоем и флюсом с повышенной температурой активности по соответствующему тепловому профилю.

В заключении следует сказать, что в ОАО «НИЦЭВТ» проведена модернизация монтажно-сборочного цеха, введено в эксплуатацию оборудование поверхностного монтажа (линейка автоматизированного оборудования английской фирмы Europlacer:



трафаретная печать, установщик компонентов, конвекционная печь), позволяющее осуществлять технологический процесс поверхностного монтажа, в том числе в среде азота.

Кроме того, освоена технология реболлинга (для изделий, собираемых на линии поверхностного монтажа с последующим контролем паяных соединений на рентгеновской установке). Операция реболлинга проводится на профессиональном ремонтном центре (ф. Мартин, Германия).