

Качество припоев для волновой пайки

Серийный продукт, который до сих пор производился с помощью свинецсодержащего припоя, был изготовлен в опытной серии с помощью бессвинцовой паяльной пасты и трех различных припоев для пайки волной, после чего был проведен подробный анализ его качества и испытание срока эксплуатации. В данной статье представлены методика и результаты этого исследования.

Франк-Петер Шифельбайн,
к. т. н.

frank.schiefelbein@siemens.com

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Введение

Репрезентативный серийный продукт был изготовлен с помощью бессвинцовой паяльной пасты припоя SnAgCu и трех бессвинцовых припоев для пайки волной — SnAgCu, SnCu и SnCuNi, после чего была проведена оценка его качества.

Задачи данного исследования:

- Оценка свойств обработки бессвинцовых паяльных паст с помощью существующих методов анализа включая AXI (Automatic X-Ray Inspection) и AOI (Automatic Optical Inspection) и оптимизация этих методов.
- Анализ характеристик оплавления и смачивания бессвинцовой паяльной пасты в процессе пайки с вынужденной конвекцией, а также трех припоев для волновой пайки в процессе пайки волной (полная волна).
- Подтверждение пригодности к применению без изменения размеров контактных площадок.
- Оценка качества и срока эксплуатации паяных соединений в комбинации с имеющимися в распоряжении бессвинцовыми и свинецсодержащими финишными покрытиями.
- Установка новых границ процесса на основании различного количества тепла (циклы, время над точкой ликвидуса, температурные профили).
- Выбор припоя для волновой пайки.
- Возможность использования полученных результатов для прочих электронных модулей.

При этом должны быть учтены следующие предельные условия:

- Максимально допустимая температура ванны припоя составляет 260 °C.
- Геометрические размеры элементов печатной платы (ПП) не могут быть изменены.
- Минимальное заполнение сквозных отверстий ПП — 75% согласно IPC-A-610D.
- Теплопроводные сквозные отверстия располагаются непосредственно рядом с контактными площадками компонента BGA для транспортировки тепла напрямую на верхнюю сторону ПП.
- Предотвращение повторного расплавления свинецсодержащих шариковых контактов компонента BGA на верхней стороне ПП во время пайки волной.

Описание экспериментов

В качестве тестового электронного модуля (рис. 1, 2) была использована печатная плата с двусторонним монтажом. На верхней стороне ПП был проведен процесс пайки оплавлением, а на нижней стороне ПП — процесс пайки волной. При этом был использован метод пайки полной волной без маскирования.

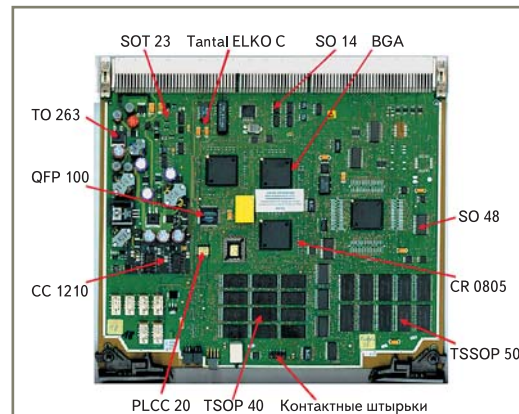


Рис. 1. Верхняя сторона тестового электронного модуля (пайка оплавлением)

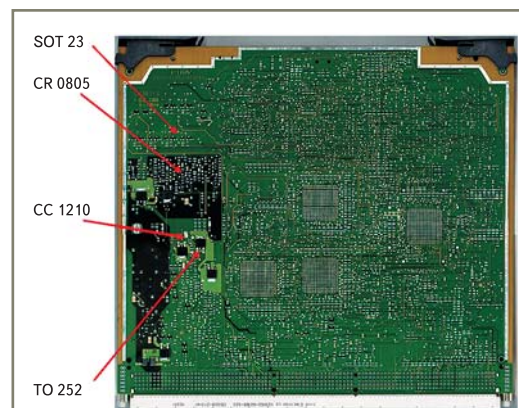


Рис. 2. Нижняя сторона тестового электронного модуля (пайка волной)

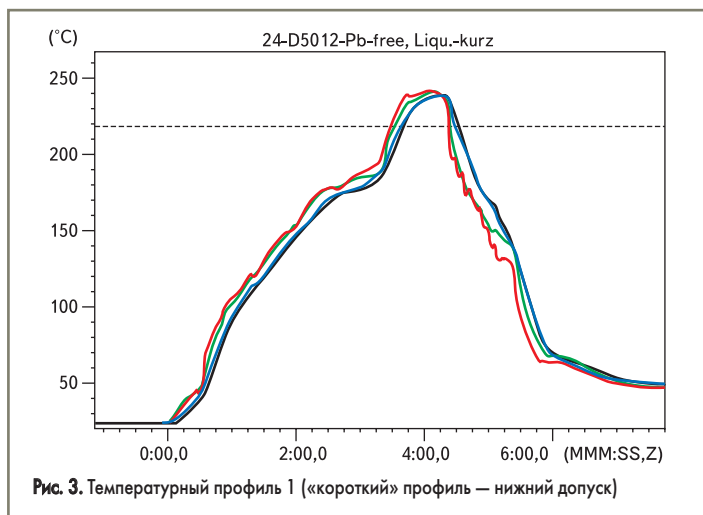


Рис. 3. Температурный профиль 1 («короткий» профиль — нижний допуск)

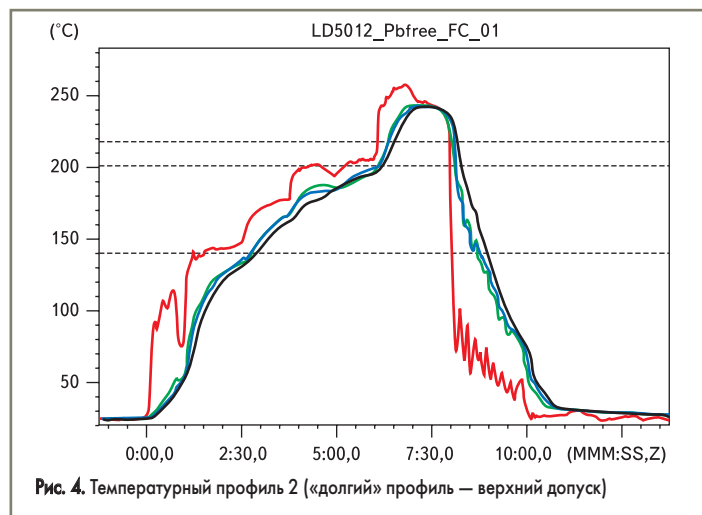


Рис. 4. Температурный профиль 2 («долгий» профиль — верхний допуск)

Электронный модуль — это функционирующий серийный продукт, который обладает следующими параметрами:

- размеры ПП: 365×265 мм;
- толщина ПП: 1,6 мм;
- количество слоев: 10;
- материал основы: FR4;
- финишное покрытие ПП: хим. олово;
- финишное покрытие компонентов: преимущественно свинецсодержащее;
- количество SMD-компонентов на верхней стороне ПП: 192;
- количество SMD-компонентов на нижней стороне ПП: 842;
- количество ТНТ-компонентов: 20;
- количество разъемов, установленных методом запрессовки: 1.

Для данного исследования было изготовлено 30 электронных узлов, из них 27 с бессвинцовыми припоями и 3 — со свинецсодержащими, в качестве контрольных модулей для сравнения.

Состав сплава бессвинцовой паяльной пасты — SnAg3,8Cu0,7, а свинецсодержащей пасты — Sn63Pb37.

Для установки температурных профилей для бессвинцовой пайки оплавлением был использован стандарт IPC/JEDEC J-STD-020C. В относительно «коротком» профиле (рис. 3) было установлено значение времени выше точки ликвидуса ($t > 217^\circ\text{C}$) от 52 до 55 секунд. В «долгом» профиле (рис. 4) было установлено значение времени выше точки ликвидуса ($t > 217^\circ\text{C}$) от 100 до 104 секунд.

Часть электронных модулей подвергли трехкратному процессу пайки с «долгим» температурным профилем.

При применении свинецсодержащей паяльной пасты был использован температурный профиль для серийного производства согласно стандарту IPC/JEDEC J-STD-020A.

Таблица 1. Варианты температурных профилей для пайки оплавлением

Пайка с вынужденной конвекцией	Обозначение	Количество процессов пайки
Профиль 1: нижний допуск	J1	1x
Профиль 2: верхний допуск	J2	1x
Профиль 2: верхний допуск	J3	3x
Профиль 3: JEDEC20A внутри допуска (стандартный профиль для свинецсодержащих припоев)	J4	1x

Параметры соответствующих профилей представлены в таблице 1.

Были использованы следующие припои для пайки волной:

- SnAg3,8Cu0,7;
- SnCu0,7;
- SnCu0,6(±0,1)Ni<0,1.

Анализ с помощью искрового спектрометра и метода ICP/OES (Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry — оптический эмиссионный анализ с индуктивным возбуждением плазмы после кислотного вскрытия) подтвердил состав припоев в рамках допусков примесей:

- SnAg3,65Cu0,72 (Bi <0,1, Pb <0,08);
- SnCu0,604 (Bi <0,1, Pb <0,06);
- SnCu0,602 Ni<0,01 (Bi <0,1, Pb 0,022).

Матрица экспериментов с указанием количества электронных модулей для каждого припоя для волновой пайки и профиля пайки, а также условий ускоренного старения представлена в таблице 2.

После входной оптической инспекции и электрического тестирования в исходном

состоянии электронные модули были подвергнуты испытаниям на старение. Оптическая инспекция и электрическое тестирование электронных модулей проводились через каждые 250 циклов или 250 часов.

Результаты испытаний

Оптическая инспекция электронных узлов в исходном состоянии показала, что количество дефектов в бессвинцовых электронных узлах после не оптимизированного процесса пайки превышает количество дефектов в серийно изготавливаемых свинецсодержащих электронных узлах с оптимизированным процессом пайки.

Во всяком случае, необходима дальнейшая оптимизация бессвинцового процесса пайки волной. Однако это не относится к основным целям данного исследования. Но при сравнении бессвинцовых припоев наименьшее количество дефектов было зафиксировано при применении припоя SnCuNi. В то же время следует учесть, что были использованы различные установки для пайки волной припоя с различными соплами и с применением различных флюсов, что могло оказать решающее влияние на результат процесса пайки.

После ремонта все электронные модули были электрически функционирующими.

Заполнение сквозного отверстия ПП припоем также оказалось различным в зависимости от используемого припоя для пайки волной (рис. 5). Лучший результат пайки был снова зафиксирован при использовании припоя SnCuNi. Однако необходимо опять учитывать использование различных установок для пай-

Таблица 2. Матрица опытов

Программа ускоренного старения	Припой для пайки волной			
	SnCu	SnAgCu	SnCuNi	SnPb
ТСТ -20/+100 °C до 1000 циклов	2×J1	2×J1	2×J1	1×J4
	2×J2	2×J2	2×J2	
	2×J3	2×J3	2×J3	
ННТ 85/85 до 1000 часов	1×J1	1×J1	1×J1	1×J4
	1×J3	1×J3	1×J3	
Исходное состояние	1×J1	1×J1	1×J1	1×J4
Сумма	9 эл. узлов	9 эл. узлов	9 эл. узлов	3 эл. узла



Рис. 5. Заполнение припоем сквозного отверстия ПП без штырькового вывода

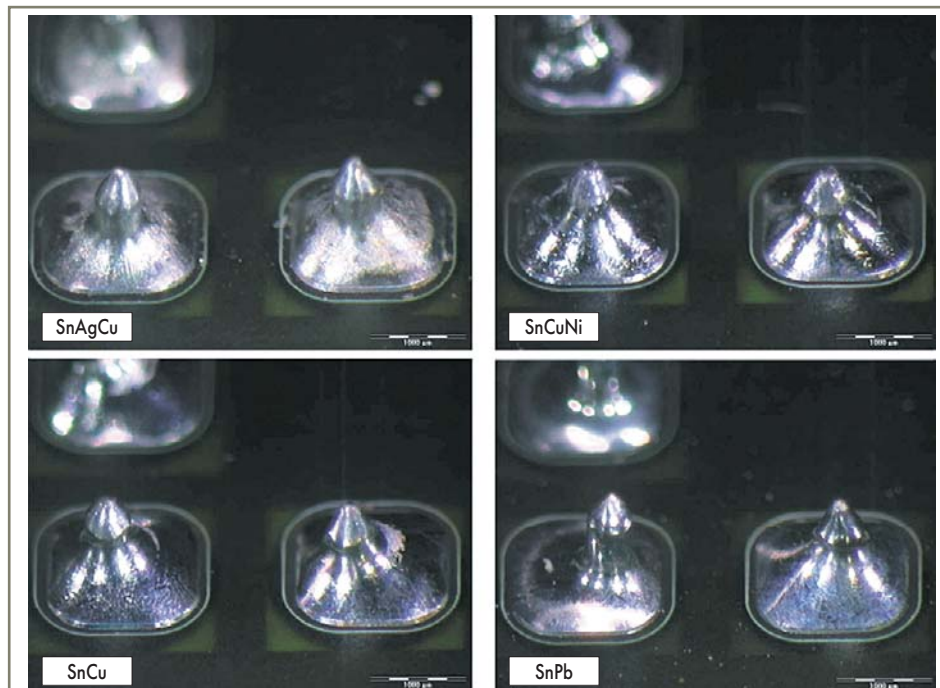


Рис. 6. Визуальное сравнение паяных соединений ТНТ из различных припоев

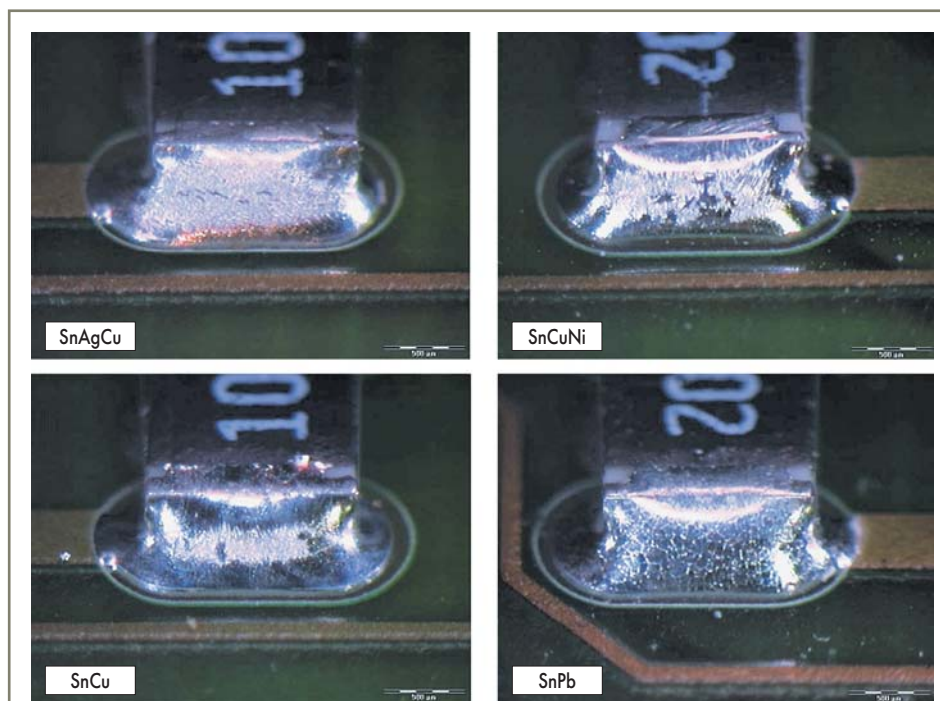


Рис. 7. Визуальное сравнение паяных соединений SMT из различных припоев

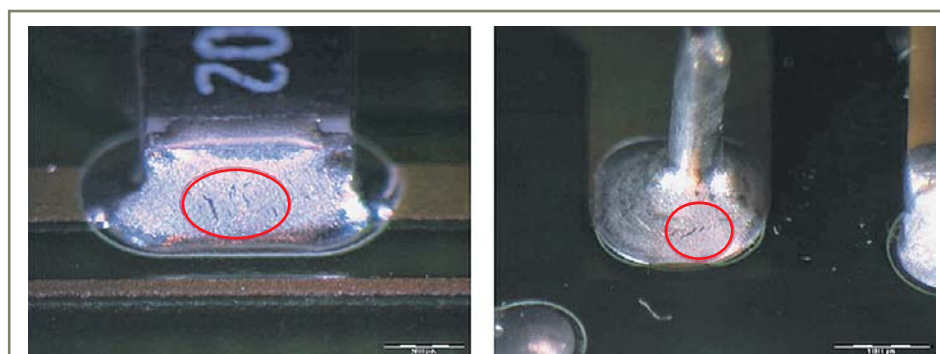


Рис. 8. Примеры дефектов, возникших при сжатии припоя SnAgCu в процессе охлаждения после волновой пайки паяных соединений SMT и ТНТ

ки волной припоя с разными соплами для подачи припоя и применение различных флюсов. Результаты пайки при использовании других припоев могут быть улучшены с помощью оптимизации процесса.

В целом паяные соединения из припоя SnAgCu имеют более шероховатую поверхность. Паяные соединения выглядят скорее матовыми, а не блестящими, как паяные соединения из припоя SnPb (рис. 6, 7). Высота смоченного припоем контакта несколько ниже.

Поверхность паяных соединений из припоев SnCuNi и SnCu более ровная и блестящая по сравнению с паяным соединением из припоя SnAgCu (рис. 6, 7). На поверхности паяных соединений SnAgCu после пайки волной были обнаружены дефекты, связанные со сжатием при затвердевании припоя (рис. 8). Согласно норме IPC-A-610D подобные дефекты допускаются. На поверхности паяных соединений из припоев SnCuNi и SnCu не было обнаружено подобных дефектов.

После 250 температурных циклов ($-20/+100$ °C) в электронных модулях были зафиксированы первые электрические отказы. Они в основном происходили в компонентах с выводной рамкой из FeNi (сплав 42). Проблема недостаточного качества образования соединений на выводной рамке из FeNi по сравнению с рамкой из меди известна также для свинецсодержащих припоев SnPb, однако при применении бессвинцовых припоев она проявляется еще сильнее (рис. 9).

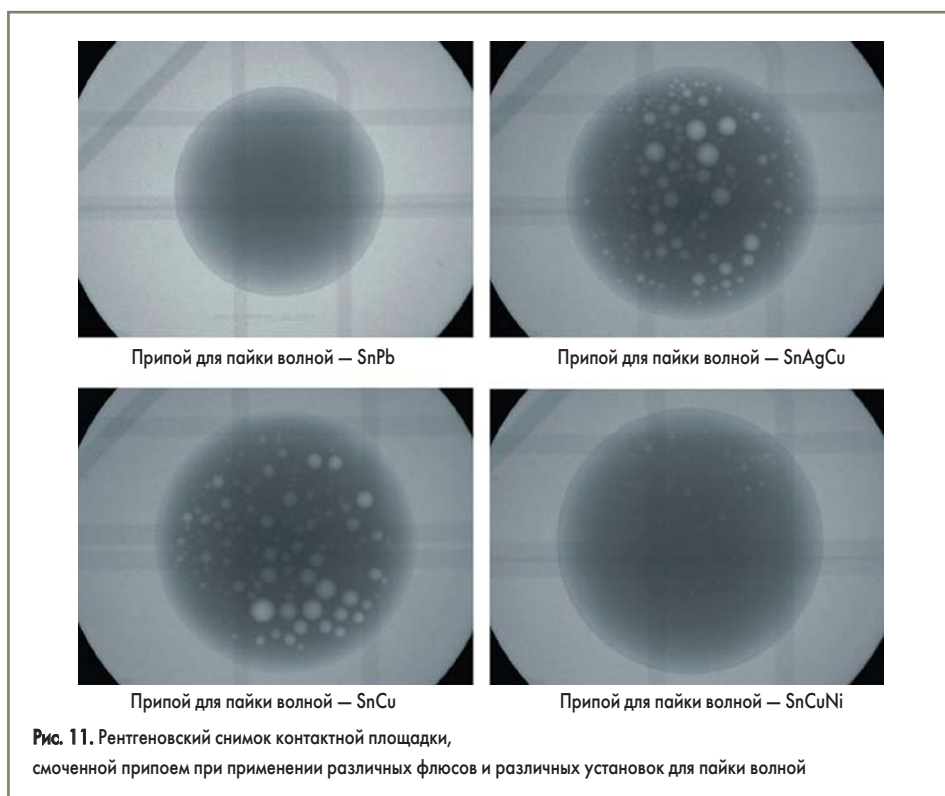
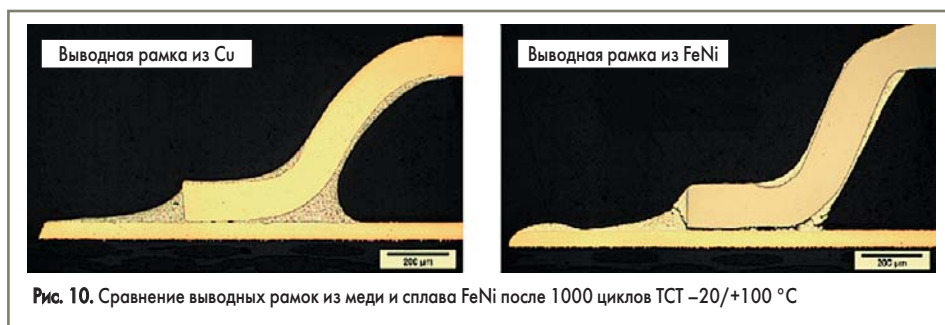
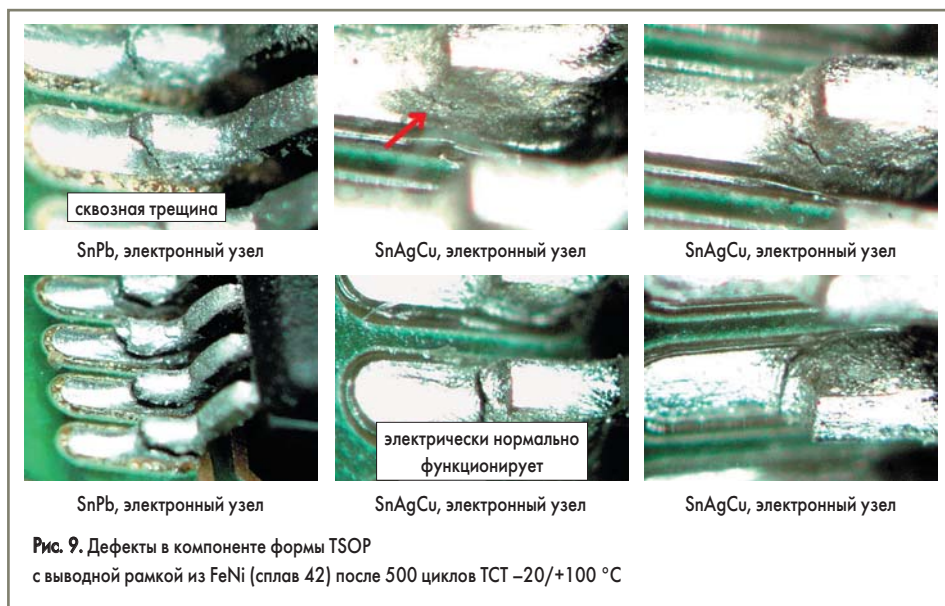
С помощью металлографического анализа были обнаружены серьезные дефекты (сквозные трещины) в паяных соединениях компонентов с выводной рамкой из FeNi — сплава 42 (рис. 10).

На рис. 11 представлена смоченная припоем контактная площадка с нижней стороны ПП без компонента, которая показывает, насколько важно согласование между припоем, флюсом и параметрами процесса. В зависимости от применяемого в процессе волновой пайки флюса обнаружено различное количество пор в паяных соединениях. Для припоев SnAgCu и SnCu использовался один и тот же флюс. Но причиной образования пор является не только флюс. Различные финишные покрытия компонентов также имеют склонность к выделению газов. Кроме того, особенно важна оптимизация процесса в зависимости от используемого припоя, флюса и температурного профиля.

Заключение

Паяные соединения из припоя SnAgCu имеют, как правило, шероховатую поверхность. Они выглядят скорее матовыми, чем блестящими, как паяные соединения из припоя SnPb. Высота смоченного припоем контакта в некоторых случаях несколько ниже. Однако это не оказывает влияния на качество бессвинцовых паяных соединений. Поверхность паяных соединений из припоев SnCu и SnCuNi более ровная и блестящая по сравнению с припоем SnAgCu.

Как следствие, необходимо согласование критериев для автоматической и неавтоматической оптической инспекции, так как в про-



тивном случае может быть детектировано большое количество псевдодефектов.

Для паяных волной соединений из припоя SnAgCu типичны небольшие отверстия на поверхности (не трещины) и дефекты объема паяного соединения вследствие дендритного отверждения припоя SnAgCu при сильной усадке.

Выявленные в ходе данного исследования дефекты находятся в допустимых пределах нормы IPC-A-610D и не оказывают влияния на качество паяного соединения. При применении припоев SnCuNi и SnCu подобные дефекты обнаружены не были.

В зависимости от примененного в процессе волновой пайки флюса было зафиксирова-

но различное количество пор в паяных соединениях. Несколько большее количество трехмерных дефектов не оказывает влияния на качество бессвинцовых электронных узлов. В свинецсодержащих паяных соединениях также обнаружены поры. Содержание пор (их размер и количество) зависит от конструкции. На образование пор влияет не только используемый флюс, но и различные финишные покрытия компонентов, которые имеют склонность к выделению газов.

Метод ускоренного старения электронных узлов с продолжительностью до 1000 циклов ТСТ ($-20/+100\text{ }^{\circ}\text{C}$) и климатические испытания «влажность-температура» были использованы для идентификации «слабых» мест бессвинцовых электронных узлов с учетом обычного спектра используемых компонентов (со свинецсодержащими и различными бессвинцовыми финишными покрытиями).

Качество бессвинцовых соединений, изготовленных волной припоя, незначительно отличается от свинецсодержащих паяных соединений. После климатического испытания (85% относительной влажности и $85\text{ }^{\circ}\text{C}$) с продолжительностью до 1000 часов не было зафиксировано дефектов ни в одном электронном узле. За исключением компонентов с выводной рамкой из FeNi, в целом были изготовлены качественные паяные соединения при использовании исследованных технологических окон (циклы, время выше точки ликвидуса, температурные профили). В ходе металлографического анализа и электрического тестирования наибольшие дефекты (длина трещин) или электрические отказы были зафиксированы в компонентах с выводной рамкой из FeNi (сплав 42). Данная проблема известна также для свинецсодержащих припоев SnPb, однако при применении бессвинцовых припоев она проявляется еще сильнее. По возможности рекомендуется не использовать компоненты со штырьковыми контактами из сплава FeNi.

Возможен переход на бессвинцовую технологию волновой пайки. Бессвинцовые процессы обработки могут быть использованы в производстве. В бессвинцовых паяных соединениях не было обнаружено дефектов вследствие применения бессвинцовых припоев. Качество бессвинцовых электронных узлов сравнимо со свинецсодержащими.

Условием для этого является оптимизация процессов с учетом следующих аспектов:

- стабильное качество поставляемых бессвинцовых паяльных паст;
- температурная стойкость компонентов (необходимое условие);
- бессвинцовые финишные покрытия компонентов и печатных плат;
- бессвинцовые процессы ремонта;
- оптимизация установок для пайки;
- оптимизация процесса волновой пайки (выбор флюса, предварительный нагрев, температура ванны с припоем, скорость конвейера) в соответствии с заданными граничными условиями при применении припоев SnCuNi/SnCu/SnAgCu.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2008, № 6. Германия).