

# Квалифицированные процессы ремонта на основе актуальных норм и стандартов

**Важной частью гарантированно качественного изготовления электронного изделия является подходящий процесс ремонта. Правильный метод доработки и ремонта ведет к тому, что удастся избежать высокой добавленной стоимости. При применении этого метода необходимые процессы ремонта должны планироваться уже на стадии дизайна и изготовления. Правильное обращение с электронными модулями и компонентами в соответствующей производственной среде, так же как и проведение качественных процессов в разрешенном диапазоне параметров процесса представляют собой основу для изготовления надежной электроники. Если установлена необходимость ремонта, то нужно определить диапазон параметров процесса пайки. При этом следует учитывать нормы, предписания производителя материала, а также ограничения со стороны изготовителей компонентов и печатных плат. При помощи надежного измерения температуры и последующего квалификационного испытания технологического процесса оптимизируется производительность в допустимом диапазоне параметров и определяется процесс ремонта.**

**Хельге Шимански**  
(Helge Schimanski)

helge.schimanski@isit.fraunhofer.de

**Перевод: Андрей Новиков**

andrej.novikov@uni-rostock.de

## Доработка и ремонт

Когда потребитель говорит о ремонте, часто непонятно, что он имеет в виду на самом деле: был ли изменен электронный модуль, заменен компонент или только доработано одно паяное соединение? Это может привести к заблуждению. Основой единого применения терминов является IPC-T-50G [1]. Эта директива представляет собой справочник с терминами и определениями для изготовления печатных плат и электронных модулей. Здесь проводится различие между доработкой (Rework), модифицированием (Modification) и ремонтом (Repair). При доработке речь идет о заново проводимой обработке частей, которые не соответствуют требованиям. Таким случаем является, например, удаление излишков припоя или пример, когда сотрудники, проводящие ремонт, обрабатывают паяное соединение с недостаточным количеством припоя. Модифицирование (Modification) проводится тогда, когда меняются требования заказчика, например, в случае использования функционально измененного компонента необходима проволочная перемычка. При ремонте (Repair) восстанавливается функционирование дефектного электронного модуля. Это происходит, например, путем замены неисправного компонента. Во всех случаях целью является соответствие документации и нормам.

## Условия производства

Доработка или ремонт должны проходить в условиях производства, которые соответствуют следующим критериям: чистота рабочего места (запрет приема еды, употребления напитков и курения); кондиционирование воздуха (оптимальные параметры — 23 °C/50–60% отн. влажности); подходящие условия сушки и хранения чувствительных к влаге компонентов и электронных модулей; организация

рабочего места, защищенного от электростатического разряда. Рабочее место должно быть оснащено необходимыми для ремонта инструментами (в том числе паяльниками, паяльной системой, применяемой для доработки), материалами (в том числе припоем, флюсом, средствами для очистки) и не дающими бликов источниками света, которые обеспечивают бестеневое освещение рабочей поверхности.

Персонал должен иметь необходимую квалификацию для проведения работ. При этом требуется как владение процессами ремонта, так и способность оценивать качество электронных модулей. Это является необходимым условием особенно для оценки того, нуждается ли данный электронный модуль в доработке или его даже необходимо подвергнуть ремонту. Лишь те состояния, которые описаны в критериях оценки как дефектные, должны быть исправлены. Следует избегать доработки паяных соединений, прошедших лишь визуальный контроль. Дополнительная пайка является нагрузкой для электронного модуля из-за лишнего теплового воздействия и может привести к его раннему выходу из строя.

## Нормы

Для ремонта и доработки не существует общепринятых норм для профиля пайки. При процессе ремонта (особенно сложных компонентов, таких как BGA и QFN) паяных соединений, для которых не могут быть применены ручные процессы пайки при помощи обычных и газовых паяльников, необходимо ориентироваться на имеющиеся нормы для технологий поверхностного монтажа и использовать по возможности их.

DIN EN 61760-1 [2] предлагает примеры для типичных температурных кривых обычных процессов пайки. На рис. 1 изображен профиль пайки для бесвинцового конвекционного процесса пайки с при-

поем системы SnAgCu. Здесь проводятся различия между типичным процессом, нижней границей процесса (измеренной на месте контакта) и верхней границей процесса (измеренной на верхней стороне электронного компонента). Изображенный типичный процесс в виде измеренной температуры на месте контакта среднего по величине компонента показывает температурно-временную кривую на месте пайки (в данном случае максимально 245 °C). Однако особое внимание следует обратить на примечание к норме, в котором указывается, что в данном случае речь идет о типичном профиле на момент издания нормы. Но, так как согласно упоминанию в DIN о том, что знания о SnAgCu-припоях на момент опубликования нормы стремительно расширяются, это может также привести к изменению типичного профиля. По сути, это высказывание означает, что этот профиль пайки является не обязательным предписанием, а лишь рекомендацией.

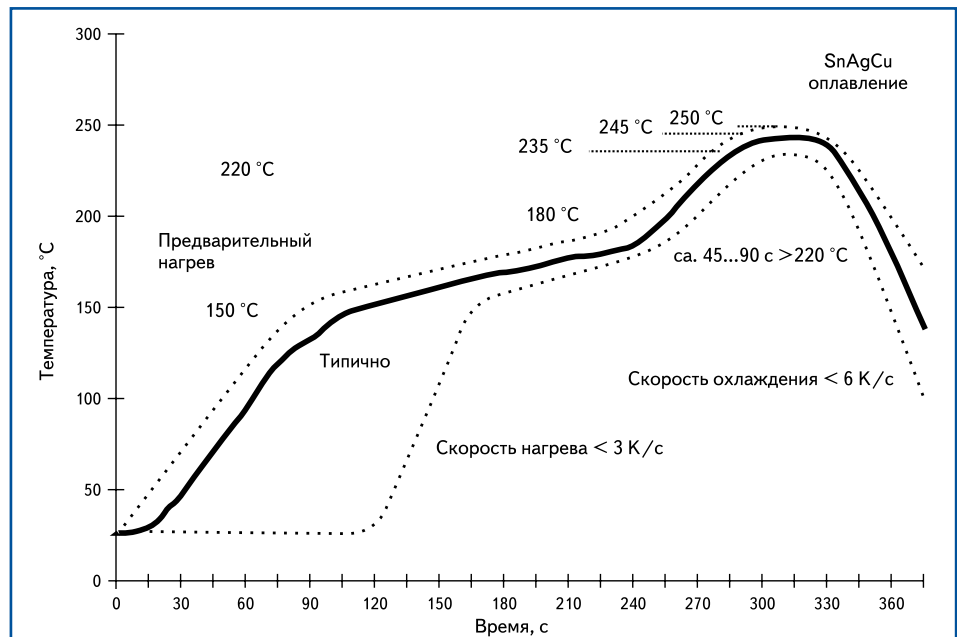
### Предписания изготовителя материала

Так как нормы содержат только ориентировочные значения, качественный процесс ремонта должен учитывать и другие граничные условия. К ним причисляется для используемого в данном случае процесса монтажа пайкой оплавленным припоем (Reflowlöten) важная составляющая — припой. В Европе для производства электроники, соответствующего директиве RoHS, в бессвинцовом процессе пайки оплавлением в основном используются припой системы SnAgCu (температура плавления — около 217 °C).

Необходимым вспомогательным материалом для процесса пайки является флюс. Флюсы используются для удаления оксидных слоев на паяных поверхностях и припое. Только таким образом можно достичь смачивания припоем металлизации платы и электронного компонента. Это необходимое условие для изготовления сплошного соединения между электронным компонентом и печатной платой. В зависимости от диапазона действия используемого флюса существует специальный для этого флюса диапазон параметров процесса пайки (температура и время). Если профиль пайки не входит в этот диапазон параметров процесса, то надежный процесс пайки не может быть обеспечен. Рекомендация по профилю пайки от производителя флюса является, таким образом, необходимой и важной нормой процесса для установления профиля пайки.

### Ограничения со стороны электронных компонентов

SMD-компоненты являются лишь условно термостойкими. Наряду с нормами для технологии поверхностного монтажа дополнительная важная информация об ограничении диапазона параметров процесса пайки содержится в J-STD-075 [3] и в J-STD-020D [4]. Оба стандарта определяют верхние предельные значения для процесса пайки.



**Рис. 1.** Профиль пайки для бессвинцового соединения SnAgCu — конвекционный процесс пайки в соответствии с DIN EN 61760–1 [2]: сплошная линия — обычный процесс (температура паяного соединения); прерывистая линия — границы процесса: нижняя граница процесса (температура паяного соединения); верхняя граница процесса (температура на верхней стороне)

В соответствии со стандартом J-STD-075 электронные компоненты без кристаллов могут использоваться для процессов монтажа, при этом не указываются специальные условия для их доработки. Тем не менее нормы могут и переноситься. Указанные в директиве границы процесса представляют собой допустимые в производстве граничные значения для определенных электронных компонентов и их семейств. Но они не являются рекомендацией для установки параметров процесса изготовителям электронных модулей, а считаются лишь верхней предельной нагрузкой. Электронные компоненты, которые разрешены для процесса пайки оплавлением и не входят в список исключений стандартного процесса пайки, должны, таким образом, выдерживать три цикла пайки оплавлением.

Если компоненты причисляются к разряду чувствительных, они получают соответствующее обозначение. Пример для обозначения уровня чувствительности к процессу PSL (Process Sensitivity Level): предупреждение для пайки оплавлением — PSL = R6G.

В данном случае R используется для обозначения процесса пайки оплавлением, а 6 — для обозначения температуры (максимальной температурной нагрузки) в 250 °C. Буква G обозначает то, что электронный компонент может быть использован при максимальной температуре от 245 до 250 °C лишь ограниченное время. При этом температура должна измеряться в середине корпуса компонента на стороне, которая направлена вверх во время процесса пайки оплавлением. (Исключение — разъем. В этом случае для измерения температуры используется спецификация поставщиков.)

Если электронный компонент, согласно стандарту J-STD-075, соответствует классу PSL и входит в список исключений, необходимо также определить его класс чувствительности к влажности MSL (Moisture Sensitivity Level). Осно-

вой для этого служит стандарт J-STD-020D. Эта директива определяет классы чувствительности к влаге для негерметичных полупроводниковых компонентов, которые применяются для поверхностного монтажа. Таким образом, в процессе пайки оплавлением (при изготовлении электронных компонентов, а также при доработке и ремонте) при помощи правильных упаковки, хранения и обращения можно избежать повреждений, вызванных влажностью, при этом срок эксплуатации и надежность могут быть увеличены.

Сильное увеличение давления пара влажности, которая находится в материале корпуса компонента, особенно во время бессвинцового процесса пайки оплавлением, может привести к расслаиванию внутри корпуса, образованию трещин в проволочном выводе и к внешним механическим повреждениям корпуса (эффекту поп-корна). Вследствие чего возникают отказы в работе или ухудшение рабочих характеристик (ограничение срока эксплуатации) компонентов.

В зависимости от чувствительности к влажности компоненты делятся на 8 классов (таблица). Таблица будет описана на примере MSL класса 3 (типичной классификации многих полупроводниковых компонентов). Электронные компоненты MSL класса 3 могут храниться в условиях  $\leq 30 \text{ °C}/60\%$  относительной влажности на протяжении 168 часов (что соответствует одной неделе) до их дальнейшей обработки. Лишь при превышении этого времени эти электронные компоненты должны быть высушены перед процессом пайки оплавлением. Эти нормы легко соблюдать в типичных климатических условиях производства. Если электронные компоненты находятся в распакованном виде дольше, чем обозначенное время, сушка необходима. Это время нахождения в распакованном виде также необходимо учитывать при ремонте уже

**Таблица. Классы чувствительности к влажности MSL в соответствии со стандартом J-STD-020D**

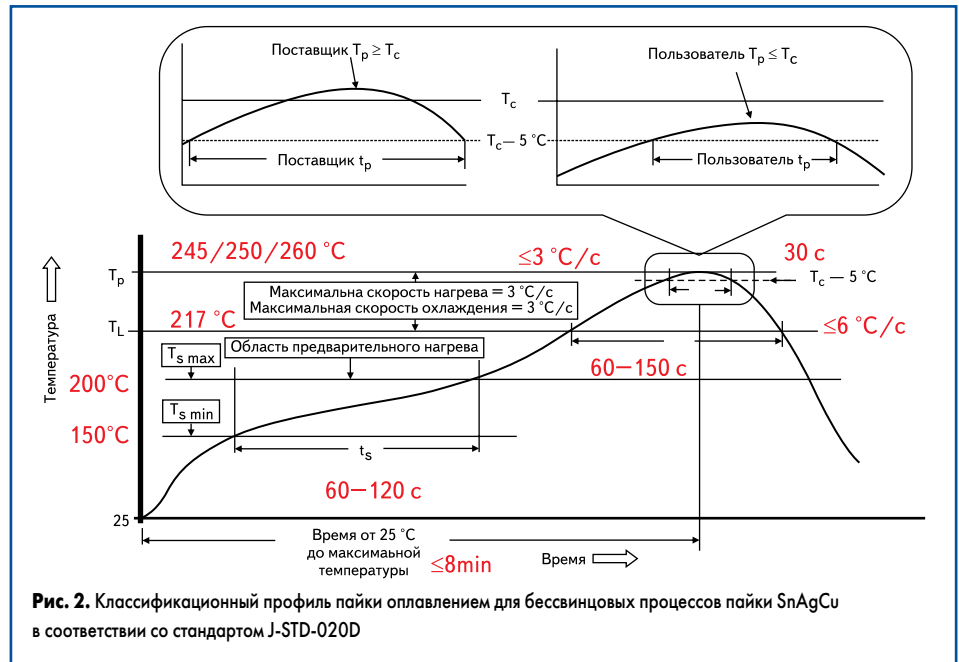
Класс	Допустимое время в распакованном виде	
	Время	Условия
1	Без ограничений	$\leq 30^\circ\text{C}/85\%$ относительной влажности
2	1 год	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности
2a	4 недели	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности
3	168 часов	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности
4	72 часа	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности
5	48 часов	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности
5a	24 часа	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности
6	Время, указанное на этикетке	$\leq 30^\circ\text{C}/60\%$ относительной влажности

смонтированных чувствительных к влажности компонентов.

Так как во время пайки оплавлением при одинаковых параметрах небольшие и тонкие компоненты подвергаются более высокому температурному, чем аналогичные большие компоненты, классификационные температуры также подразделяются. Максимальная температура нагрузки для бессвинцовых процессов пайки припоем SnAgCu составляет  $245^\circ\text{C}$  для больших,  $250^\circ\text{C}$  для средних и  $260^\circ\text{C}$  — для маленьких компонентов. Согласно этим нормам полупроводниковые компоненты три раза подвергаются нагрузке соответствующим классификационным профилем пайки оплавлением в зависимости от их размера (рис. 2). Важно в изображенном классификационном профиле учитывать тот факт, что представленную температурно-временную кривую нельзя отождествлять с реальным профилем пайки. Ни в коем случае нельзя превышать указанные температурные и временные параметры, используемые при пайке параметры должны находиться лишь в области ниже кривой (см. увеличенное изображение).

### Сушка электронных компонентов и модулей

Часть качественного процесса ремонта — правильное обращение с электронным компонентом и модулем, согласованное с процессом пайки. Важным в этом случае является правильное хранение и сушка смонтированных и немонтированных компонентов перед пайкой оплавлением. Помимо описания процессов доработки и ремонта до и после пайки, стандарт DIN EN 61192-5 [5] содержит рекомендации по сушке перед заменой электронного компонента, а также предварительному нагреву печатных плат и заменяемых чувствительных компонентов. Обычная комбинация параметров для сушки в соответствии со стандартом DIN EN 61192-5, например, представляет собой 48 часов при  $80^\circ\text{C}$  или 60 часов при  $70^\circ\text{C}$ . Однако данные различных норм и стандартов содержат некоторые противоречия. Электронные модули, изготовленные из многослойных печатных плат (Multilayer), в соответствии со стандартом DIN EN 61192-5 должны быть высушены до начала доработки, в случае если они храни-



лись на протяжении одного месяца или прошли испытания в полевых условиях. Однако это противоречит стандарту J-STD-020D, в соответствии с которым электронные компоненты MSL класса 3 могут находиться в распакованном виде перед процессом пайки максимально 168 часов. В случае подобного противоречия наиболее правильным считается применение более строгого критерия.

Следующей важной директивой по обращению и применению чувствительных к влажности и пайке оплавлением электронных компонентов является стандарт J-STD-033B.1 [6]. Он действует для процессов пайки ПП, оплавленным припоем, и локального нагрева, которые явно включают в себя доработку и ремонт. В соответствии со стандартом J-STD-033B.1 максимальная температура корпуса любого электронного SMD-компонента не должна превышать  $200^\circ\text{C}$ , иначе печатная плата должна подвергнуться сушке. Сушку электронного модуля необходимо проводить при  $125^\circ\text{C}$ , в случае присутствия чувствительных к температуре компонентов (например, батарей, штырьвых разъемов) возможна и более низкая температура сушки. Однако при этом значительно увеличивается время сушки. Электронному компоненту MSL класса 3 с толщиной корпуса до 1,4 мм, которому при  $125^\circ\text{C}$  необходимо сохнуть 9 часов, при  $90^\circ\text{C}$  ( $\leq 5\%$  относительной влажности) понадобятся 33 часа, а при  $40^\circ\text{C}$  ( $\leq 5\%$  относительной влажности) — 13 дней. Следующей нормой для сушки в соответствии со стандартом J-STD-033B.1 является ограничение суммарного времени сушки при температуре от  $90$  до  $125^\circ\text{C}$  максимально до 96 часов. При температуре ниже  $90^\circ\text{C}$  временные ограничения не приводятся. Температура сушки выше  $125^\circ\text{C}$  недопустима без предварительного согласования с поставщиком. При сушке необходимо учитывать возможное окисление поверхностей для пайки, а также рост интерметаллических фаз. Эти процессы зависят от температуры и времени и могут негативно повлиять на результат пайки. В худшем случае они могут препятствовать пайке.

### Необходимое количество тепла и термостойкость при процессе пайки

Целью бессвинцового процесса ремонта является щадящая для электронного компонента пайка в заданном диапазоне параметров процесса, которая допускает нагрев без повреждения соединения. В качестве нормативного профиля служит профиль серийного процесса пайки. По возможности необходимо его придерживаться. В случае если профиль неизвестен, то директива по обработке компонентов BGA — IPC 7095B [7] — содержит описание параметров процесса пайки.

С одной стороны, необходимо учитывать поглощение тепла электронным модулем. Имеющееся в наличии для процесса пайки тепло должно активировать флюс и нагреть места паяных соединений в течение 3–5 минут до температуры пайки. Рекомендуемая в данном случае температура для паяных соединений составляет приблизительно  $230...235^\circ\text{C}$ . В любом случае она должна значительно превышать температуру точки плавления (ликвидуса) припоя.

С другой стороны, необходимо учитывать термостойкость электронного компонента и печатной платы. Щадящий процесс пайки электронных модулей означает, что скорость нагревания не превышает  $1-2^\circ\text{C}/\text{c}$  и температура печатных плат не превышает  $190^\circ\text{C}$  дольше, чем 4 минуты. Паяные соединения должны находиться в расплавленном состоянии от 30 до 90 с. Максимальная температура мест пайки должна быть ограничена  $245^\circ\text{C}$ , и максимально допустимая температура модулей, если есть компоненты, чувствительные к влажности, не должна сохраняться дольше 20 с.

Следует учитывать, что корпус SMD-компонентов во время процесса пайки ни в какой момент не может превышать значения своего класса чувствительности к влажности в соответствии со стандартом J-STD-020D. Каждый электронный компонент может подвергнуться максимально трем процессам пайки оплавлением, в ином случае необходимо уточнять данные у поставщика. Это касается и смонтированных

компонентов и особенно должно учитываться при повторном ремонте электронного модуля. Электронные модули, которые окружают подлежащие замене компоненты, вероятно, неоднократно подвергаются температуре, превышающей 200 °С. При учете нагрузки во время изготовления электронных модулей число допустимых процессов пайки оплавлением может быть быстро превышено.

### Определение профиля пайки

Стандарты IPC-7711/7721 [8] и DIN EN 61192-5 охватывают и подробно описывают процессы доработки, модифицирования и ремонта электронных модулей (в том числе чистоту, защиту от электростатического разряда, обучение и типичное протекание процесса). Однако они не содержат информации о температурно-временных характеристиках и проведении процесса оптимизации профиля пайки.

Для контролируемых процессов ремонта абсолютно необходима качественная оптимизация процесса на основе надежного температурного измерения. Такая оптимизация является необходимым условием для изготовления надежных электронных модулей, особенно при ограниченном диапазоне параметров процесса при пайке бессвинцовыми припоями SnAgCu.

Для определения профиля пайки в качестве измерительных датчиков используются NiCr-Ni-термоэлементы (тип К). Лучше всего для этого подходят изолированные термоэлементы с наружным диаметром 0,25 мм. Согласно DIN EN 60584-2 [9] они могут иметь предельное отклонение в соответствии с классом 1, для того чтобы свести к минимуму ошибки измерения. Для получения данных используется откалиброванная многоканальная измерительная система, которая работает как с сохранением данных, так и с их передачей в режиме онлайн. В качестве контроля точности измерительной системы проводится ее регулярное калибрование, что является основой для соблюдения норм обеспечения качества.

Процесс пайки оплавлением происходит при температурном дисбалансе. Неодинаковые термические массы больших и малых компонентов нагреваются с разной скоростью. В связи с этим возникает разница температур между более холодными и более теплыми областями. Температурные датчики должны располагаться таким образом, чтобы были охвачены важные точки измерения. К ним, например, относятся температура корпуса термочувствительных компонентов, температура поверхности печатных плат в области меньшей плотности монтажа (опасность перегрева), а также температура паяных соединений и корпусов компонентов, подлежащих замене. Пример расположения температурных датчиков изображен на рис. 3.

Для оптимизации температурного профиля рекомендуется использовать электронный модуль из серии забракованного изделия. Таким образом можно обеспечить сопоставимость результатов измерений с реальным примером ремонта.

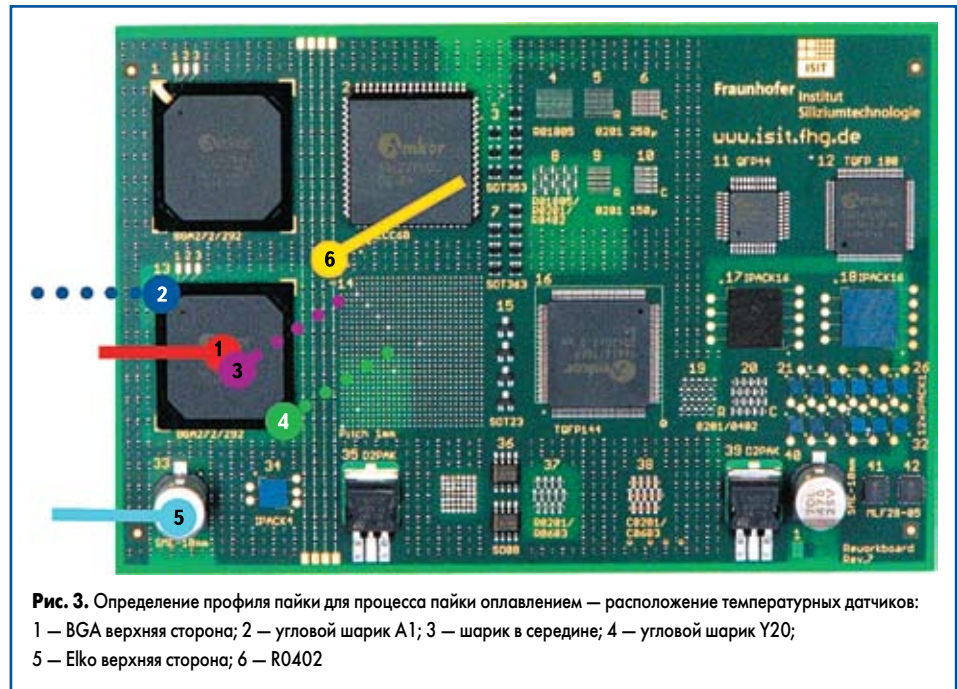


Рис. 3. Определение профиля пайки для процесса пайки оплавлением — расположение температурных датчиков: 1 — BGA верхняя сторона; 2 — угловой шарик A1; 3 — шарик в середине; 4 — угловой шарик Y20; 5 — Елко верхняя сторона; 6 — R0402

Так как термические массы на электронном модуле в большинстве случаев распределены неравномерно и электронные компоненты, которые нужно распаять, часто имеют разную структуру, в сомнительном случае необходима оптимизация нового профиля пайки для каждого места ремонта электронного модуля. Полученные профили пайки оплавлением при одинаковой установке параметров прибора, возможно, будут находиться в разрешенном диапазоне параметров процесса. Однако это предположение не может быть сделано без подтверждения при помощи температурного измерения.

В больших компонентах BGA необходимо измерять паяные соединения, находящиеся снаружи и внутри, а также температуру корпуса. На рис. 4 представлено рентгеновское изображение NiCr-Ni термоэлемента в шарике BGA. Для того чтобы правильно измерить температуру этих паяных соединений, рекомендуется просверлить отверстие с обратной стороны электронного модуля до середины шарика. Однако это означает, что для определения оптимального профиля пайки будет разрушен тестовый электронный модуль.

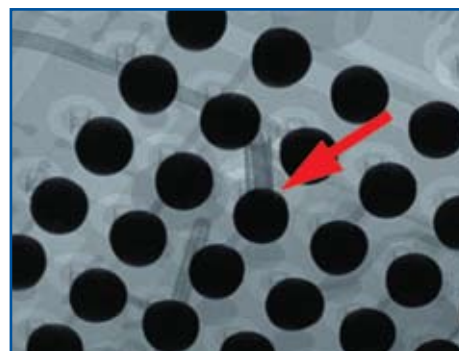


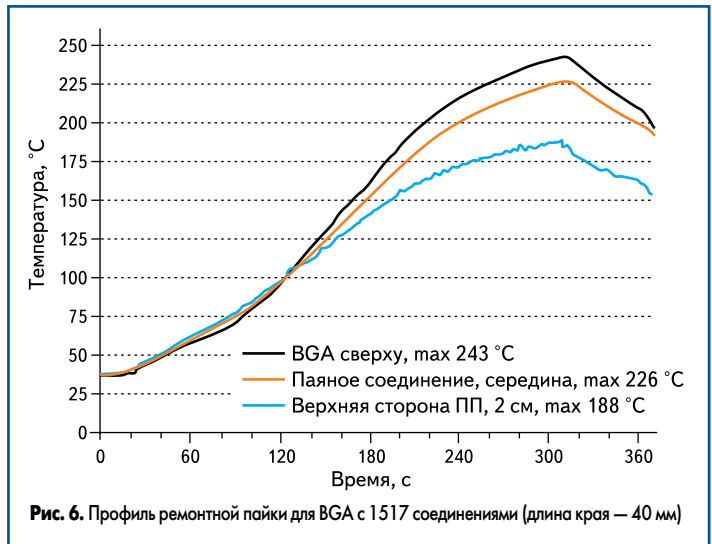
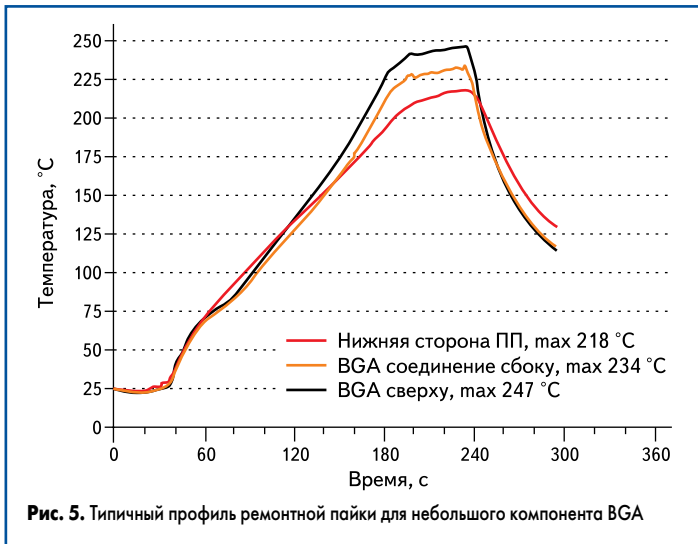
Рис. 4. Рентгеновское изображение NiCr-Ni термоэлемента в шарике BGA

термоэлемент может сдвинуть электронный компонент, и измерение будет неточным.

Надежная фиксация датчиков необходима для того, чтобы создать хороший термический контакт. При этом необходимо следить за тем, чтобы встроенный датчик по возможности мало влиял на реальное изменение температуры. В качестве хорошего варианта зарекомендовала себя фиксация изолированных термоэлементов с помощью минимального количества теплопроводящей пасты (на месте паяного соединения, на верхней стороне компонента или металлизированного отверстия) и крепление при помощи термостойкой липкой ленты. Хорошая подготовка температурного измерения является условием для надежного измерения температуры, для чего необходима твердая рука, внимательность и правильные инструменты. Также важен контроль мест измерений после исследования. Только таким образом можно гарантировать, что результаты верны, и интерпретация измерения может быть проведена на основе правильных данных.

Для определения профиля пайки задаваемые значения ремонтного паяльного оборудования выбираются сначала таким образом, что (исходя из опытных данных) температура электронного модуля является скорее слишком низкой, чем слишком высокой. Таким образом минимизируется риск термического повреждения измеряемого электронного модуля. На основе результатов температурного измерения параметры оптимизируются, и температурный профиль реализуется в диапазоне параметров процесса. Если же имеется только один электронный модуль, который подлежит ремонту, и нет измерительного электронного модуля, при выставлении параметров пайки необходимо либо основываться на экспериментальных данных, либо в качестве измерительного образца может быть использован похожий по структуре электронный модуль.

При ремонте достаточно локально нагреть область дефектного компонента до температу-



ры пайки. Если при этом полностью прогреются сложные компоненты, то возникает необходимость процесса пайки оплавлением, который согласован с серийным процессом. В процессе пайки припоем SnAgCu это означает обширный нагрев (по возможности полный) электронного модуля до температуры минимум 130...150 °С. Для того чтобы процесс пайки был щадящим для электронных модулей, 75% тепловой энергии должно подаваться при помощи нагревателя, расположенного снизу. Необходимое остальное тепло (около 25%) подается при помощи верхнего нагревателя. Таким образом не допускается перегрев электронного компонента. Щадящая пайка означает нагрев с низким температурным градиентом и образование плоской зоны пиковой температуры, вследствие чего бессвинцовые процессы пайки длятся значительно дольше, чем известные свинецсодержащие процессы. Системы для ремонтной пайки позволяют при помощи поддержки пользователя и воспроизводимых процессов ремонта обеспечить качество, которое сопоставимо с неремонтируемыми электронными модулями.

Благодаря нагреву большой площади риск расслоения печатных плат в области паяного соединения сокращается до минимума. Гибкое крепление печатных плат допускает горизонтальное расширение электронного модуля при нагреве. Использование крепления печатных плат предотвращает в данном случае изгиб. Иначе есть опасность того, что в угловых контактах больших компонентов BGA могут возникнуть короткие замыкания.

Термочувствительные компоненты защищаются от теплового потока при помощи соответствующих мер. Это может быть, например, экран из алюминия или специальное защитное маскирование. Если же теплопроводность электронного модуля, несмотря на это, остается высокой, термочувствительные компоненты должны быть удалены непосредственно перед процессом ремонта.

На рис. 5 изображен типичный профиль ремонтной пайки для небольшого компонента BGA (длина края — 8 мм) на печатной плате размером приблизительно 40×80 мм и толщиной в 1,6 мм. Максимальная температура в 247 °С на верхней стороне компонента до-

стигается по прошествии 3 минут. Здесь максимальная температура паяного соединения составляет 234 °С, а с нижней стороны печатная плата нагревается до 218 °С.

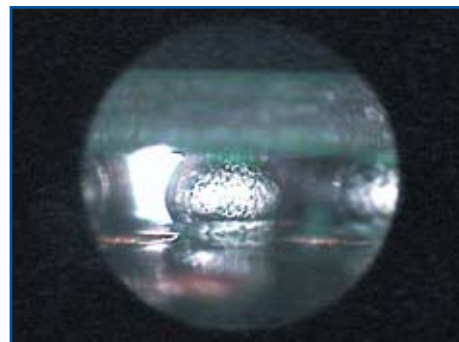
Наряду с определением профиля пайки следующим важным шагом в производстве надежной электроники считается подготовка электронного модуля к процессу повторного процесса пайки. Остатки припоя на печатной плате или удаляются вручную при помощи шнура (гибкого провода) для выпайки, или разравниваются с помощью паяльника со специальным жалом. При этом целью ставится не полное удаление старого припоя, а равномерное распределение остатков на отдельных площадках печатных плат. Острые неровности припоя, которые могут образовываться в процессе выпайки, таким образом выравниваются. Для повторной пайки как на новый компонент, так и на печатную плату наносится специальный селективный или ремонтный флюс. Если используется флюс-гель, то нанесение возможно только либо на печатную плату, либо на компонент. При использовании компонента QFN, в контактах которого отсутствует припой, необходимо нанесение паяльной пасты. Она может быть нанесена методом шаблонной печати с помощью мини-шаблона либо на печатную плату, либо напрямую на компонент (типичный процесс). На подготовленный таким образом измерительный электронный модуль припаивается новый компонент.

На рис. 6 изображен профиль пайки для процесса доработки компонента BGA с 1517 соеди-

нениями (длина края — 40 мм). Компонент находится посередине на печатной плате толщиной в 2,4 мм и с размерами 300×400 мм. Из-за большой теплоемкости и термочувствительных компонентов, расположенных в непосредственной близости, которые не могли быть удалены перед процессом, необходима по возможности низкая температура пайки электронного модуля. Для ее реализации было увеличено количество тепла через верхний нагреватель. Для того чтобы компонент не перегрелся, необходимо было сократить температуру верхнего нагревателя, вследствие чего время процесса пайки значительно увеличилось. Результатом стали достаточно низкая максимальная температура паяного соединения в середине компонента (226 °С) и максимальная температура поверхности компонента 243 °С, которая была достигнута после 5 минут. Если во время пайки оплавлением достигаются, как в данном случае, очень низкие температуры паяных соединений, необходима надежная проверка качества пайки.

### Проверка качества

После оптимизации процесса и повторной пайки нового электронного компонента на измеряемый электронный модуль проводится неразрушающий контроль паяных соединений при помощи оптической и рентгеновской инспекции, а также функциональный тест. На рис. 7 и 8 изображены примеры оптической инспекции паяных соединений компонента BGA с применением эндоскопа. На рис. 7 ясно видно



**Рис. 7.** Расположенное снаружи паяное соединение компонента BGA



**Рис. 8.** Расположенные внутри паяные соединения компонента BGA

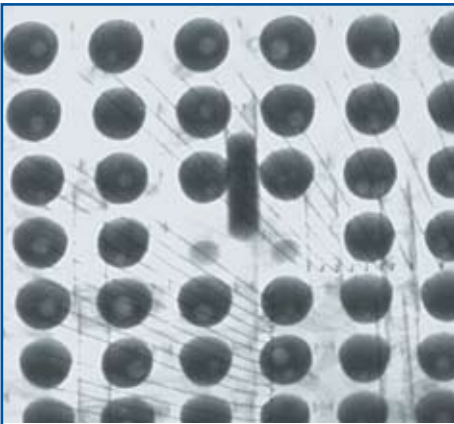


Рис. 9. Утечка припоя в переходное соединение

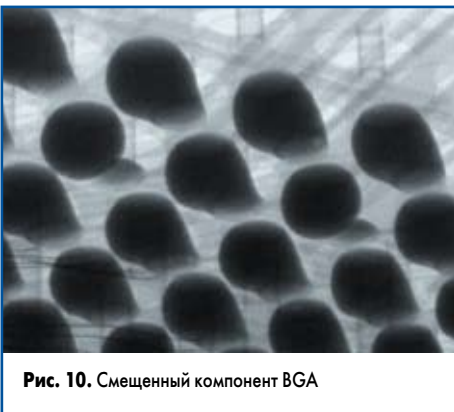


Рис. 10. Смещенный компонент BGA

расположенное снаружи паяное соединение компонента BGA. Для оценки качества электронного модуля используется стандарт IPC-A-610D [10]. Центральное расположение паяных шариков BGA является желаемым результатом относительно точности расположения. На рис. 8 расположенные внутри паяные соединения демонстрируют единство формы и размера.

На рис. 9 и 10 изображены рентгеновские снимки с примерами неправильно спаянных компонентов BGA, из-за чего требуется ремонт электронного модуля. Поврежденная паяльная маска ведет к утечке припоя из паяного соединения BGA в переходное соединение (рис. 9). Из-за недостаточного тепла процесса пайки монтированный со смещением компонент BGA не центрировался, и такие паяные соединения недопустимы согласно стандарту IPC-A-610D.

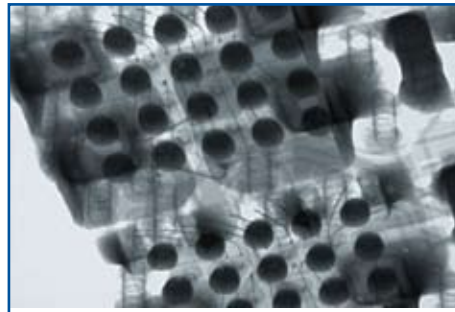


Рис. 11. Компонент  $\mu$ BGA после ремонта, желаемое состояние

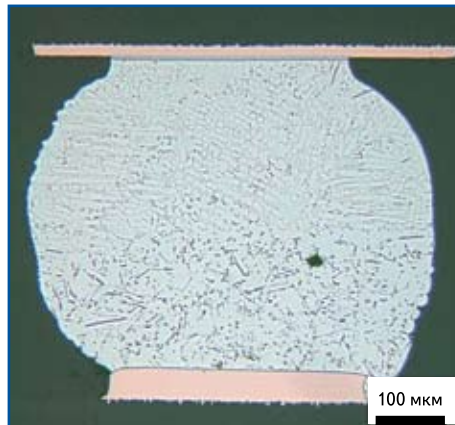


Рис. 12. Поперечный шлиф паяного соединения компонента BGA

На рис. 11 изображен компонент  $\mu$ BGA с длиной края 2 мм в желаемом состоянии после ремонта. В данном случае не видно перемычек припоя, брызг припоя или других дефектов. Паяные соединения расположены равномерно и центрально.

Особенно при предельных параметрах процесса, как, например, с компонентом BGA1517, абсолютно необходим разрушающий анализ с помощью поперечного шлифа для проверки качества паяного соединения. Только таким образом при низких температурах пайки можно протестировать хорошее качество паяного соединения при помощи анализа образования сплошных интерметаллических фаз (рис. 12).

Если созданы условия для процесса ремонтной пайки, который является щадящим для электронного модуля и находится в диапа-

зоне параметров процесса для надежной пайки, он может применяться для ремонта дефектных электронных модулей.

**Примечание.** Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen. 2010. № 5. Германия).

### Литература

1. IPC-T-50G. Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, Begriffe und Definitionen für die Leiterplatten- und Baugruppenindustrie. Dez. 2003.
2. DIN EN 61760-1. Oberflächenmontage-technik — Teil 1: Genormtes Verfahren zur Spezifizierung oberflächenmontierbarer Bauelemente (SMD)s (IEC 61760-1:2006); Deutsche Fassung EN 61760-1:2006.
3. J-STD-075. Klassifizierung von Nicht-IC-Elektronikbauelementen für Bestückungsprozesse. Aug. 2008.
4. J-STD-020D. Klassifizierung feuchtigkeits-/reflowempfindlicher nichtthermischer Halbleiterbauteile für Oberflächenmontage, Aug. 2007, deutsche Ausgabe; J-STD-020D Moisture / Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices (Rev. D März 2008), englische Ausgabe.
5. DIN EN 61192-5. Anforderungen an die Ausführungsqualität von Lötbaugruppen — Teil 5: Nacharbeit, Änderungen und Reparatur von gelöteten elektronischen Baugruppen (IEC 61192-5:2007); Deutsche Fassung EN 61192-5:2007.
6. J-STD-033B.1. Handhabung, Verpackung, Transport und Einsatz feuchtigkeits-/reflowempfindlicher Bauelemente für Oberflächenmontage. Jan. 2007.
7. IPC-7095B. Design and Assembly Process Implementation for BGAs. März 2008.
8. IPC-7711/7721. Rework, Modification and Repair of Electronic Assemblies. Nov. 2007.
9. DIN EN 60584-2:1994-10. Thermopaare — Teil 2: Grenzabweichungen der Thermospannungen (IEC 60584-2:1982 + A1:1989); Deutsche Fassung EN 60584-2:1993.
10. IPC-A-610D. Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen. IPC Association Connecting Electronics Industries. IPC Standard (2005); deutsche Übersetzung: FED. Berlin. 2005.