

Изменение технологического процесса при переходе на бессвинцовую пайку

Исключение свинца из технологического процесса на первый взгляд кажется простым делом, но почему же тогда самые современные европейские производства тратят на переход к бессвинцовой технологии пайки по 2 года? О том, что повлечет за собой повышение температуры и об основных изменениях технологического процесса пойдет речь в данной статье.

Александр Левданский

alev@dialectrolux.ru

Запрет на использование свинца при производстве электроники вступает в силу с 1 июля 2006 года. Директивы RoHS и WEEE ограничивают производство, распространение и утилизацию любых электроприборов пока только в Европе. Тем не менее, под запрет не попадают такие области промышленности, как автомобилестроение, медицина, ВПК, аэрокосмический комплекс.

У нас в стране переход на бессвинцовую технологию вызывает большой интерес только последний год и служит лишь почвой для новых исследований и хорошим поводом для обсуждения. По настоящему актуальной проблемой это стало для производителей, чья продукция поставляется на экспорт в Европу, для предприятий, которые в будущем хотят быть ориентированными на европейский или даже мировой рынок, а также для производителей, понимающих, что, в конечном счете, та же «участь» ждет и нашу промышленность.

В Европе к настоящему моменту большинство производителей уже полностью или частично исключили из своего производства свинец. И это не удивительно. Время начала перехода на бессвинцовую технологию уже давно прошло. Нужно понимать, что 1 июля 2006 года — это не дата «перехода» на бессвинцовую технологию, а дата, после которой производство должно работать четко, без сбоев, и, как минимум, с теми же объемами партий.

Переход на бессвинцовую технологию — процесс сложный и может коснуться не только изменения паяльных материалов, но и оборудования. По опыту голландской фирмы Cobag, потребуется не менее двух лет, чтобы не только подобрать все материалы и оборудование, но еще и отработать весь технологический процесс.

Как казалось на первый взгляд, исключение свинца из технологического процесса — это всего лишь замена свинцового сплава на бессвинцовый, в результате чего температура пайки повысится на 30–40 °С. Но в действительности все гораздо сложнее.

Бессвинцовые сплавы

Сплав олова и свинца является основным сплавом в электронной промышленности уже многие годы, так как обладает всеми свойствами для обра-

зования надежных контактов. Но, несмотря на это, поиск новых сплавов, способных заменить свинец, начался намного раньше, чем существуют директивы о запрете его использования. Это было связано со стремлением некоторых производителей еще в то время исключить из своего производства вредные вещества. Благодаря этому сегодня существуют сплавы, способные по некоторым характеристикам, таким как усталостная прочность, прочность паяного соединения и т. д., сравниться со сплавом SnPb.

Как правило, большинство бессвинцовых сплавов имеют температуру плавления выше, чем у сплава олово-свинец. Исключением являются сплавы с добавлением висмута или индия.

Проблема сплавов с добавлением индия — высокая и нестабильная стоимость. Согласно данным Лондонской биржи металлов, в третьем квартале 2005 года удельная цена индия выросла до \$1050 за килограмм, в то время как во втором квартале она составляла \$900 за кг (на 17% меньше). В 2001 году стоимость индия составляла \$70 за килограмм. При этом производство индия в год составляет примерно 200 тонн. Кроме того, добавление индия не обеспечивает паяное соединение достаточной прочностью.

Стоимость сплавов на основе висмута примерно такая же, как и у свинцовых сплавов, а температура плавления ниже. Но сплавы на основе висмута обладают чрезмерной хрупкостью, что негативно может сказаться на прочности паяного соединения. На первый взгляд паяное соединение, в состав которого входит висмут, обеспечивает хорошую прочность на разрыв, и при этом недостаточную прочность на отрыв (табл. 1) из-за низкой усталостной прочности материала. (То же самое можно сказать и про сплавы, в состав которых входит индий.)

Наилучшими свойствами обладает сплав SnAg (олово — 96%, серебро — 4%). У него более высокая смачиваемость и прочность. Эвтектический сплав Sn96Ag4 с температурой плавления 221 °С при испытаниях на термоциклирование показал более высокую надежность по сравнению с SnPb. Припой на базе сплава Sn96Ag4 многие годы успешно применяются в специальной аппаратуре. Но основным недостатком этого сплава является высокая температура пайки, которая достигает 260 °С. Такая температура может негативно сказаться на некоторых компонентах.

Таблица 1. Параметры разных типов паяльных паст при испытании на отрыв

Контактная площадка — паста	Ni/Pd-SnPbAg	Ni/Pd-SnZnBi	Ni/Pd-SnAgCu
Количество образцов	20	20	20
Максимальное усилие отрыва	10,4	3,6	9,8
Минимальное усилие отрыва	6,6	1,2	6
Среднее значение	8,8	2,7	8,1

Тестируемый компонент: QFP-208, расстояние между выводами 0,5 мм

Наиболее приемлемым и распространенным бессвинцовым сплавом на данный момент является так называемый сплав SAC (табл. 2, рисунок). Его название — аббревиатура, составленная из первых букв названий металлов, входящих в его основу: SnAgCu (олово, серебро, медь). Эвтектический сплав Sn95,5Ag3,8Cu0,7 (SAC4) был получен в результате доработки базового сплава SnAg. Он имеет более низкую температуру плавления, более высокую надежность паяных соединений и обладает наилучшей паяемостью среди всех бессвинцовых сплавов. Добавление меди снижает температуру плавления (217 °C), значительно повышает смачиваемость, а также прочность паяного соединения.

Изменения технологического процесса

Принципиально бессвинцовый технологический процесс аналогичен обычному процессу с применением свинцовых материалов. Главное отличие — повышение температуры пайки примерно на 30–40 °C. Но в связи с этим могут потребоваться некоторые изменения на определенных операциях техпроцесса. Так, например, новые типы припоев и флюсов могут повлиять на характеристики припойной пасты. Могут измениться такие свойства паст, как срок службы и хранения, текучесть, что потребует изменения конструкции ракеля и режимов оплавления.

При воздействии повышенной температуры пайки может произойти вспучивание корпусов компонентов, растрескивание кристаллов, нарушение функционирования схем. Схожие эффекты возникают и в печатных платах. Под действием температуры происходит расслоение основания, ухудшается плоскостность, что отрицательно сказывается на точности установки компонентов, особенно в корпусах больших размеров.

Для оценки влияния повышенной температуры и более длительного времени пайки требуется переаттестация существующей технологии пайки. Такие исследования сегодня проводятся SEMI и JEDEC.

Что касается оплавления, то влияние бессвинцовой пайки неодинаково на различных стадиях процесса. Все основные изменения связаны, в первую очередь, с более высокой температурой пайки. Требуется более тщательный выбор компонентов и материалов основания платы.

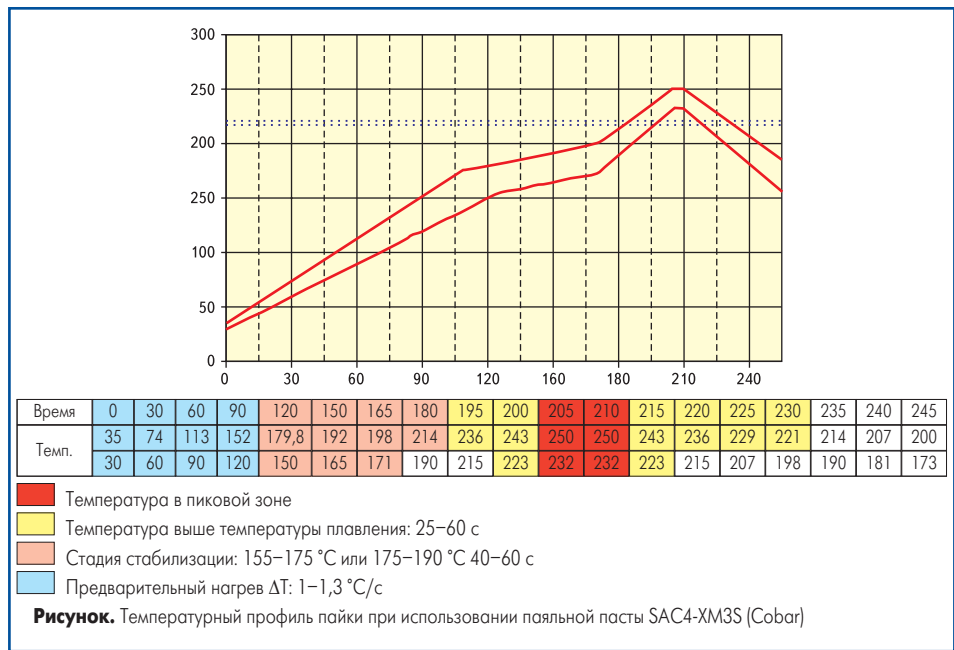
Более того, физические свойства бессвинцовых сплавов отличны от содержащих свинец. Так, теплопроводность сплава SAC в 1,5 раза выше, чем у SnPb, объем больше, а плотность

Таблица 2. Основные параметры свинцовых и бессвинцовых сплавов

Состав, %	Ликвидус, °C	Солидус, °C	Плотность, г/см³	Термопроводность, Вт/(см·°C) при 85 °C	Коэффициент расширения, мкм/(м·°C)
60Sn40Pb*	191	183	8,50	0,49	25,20
91Sn9Zn**	199	199	7,27	0,61	
50Sn50Pb*	212	183	8,90	0,48	23,40
95,5Sn3,8Ag0,7Cu (SAC4)	217	217	7,50		
96,5Sn3,5Ag**	221	221	7,36	0,33	30,20
99Sn1Cu**	227	227	7,30		
100Sn**	232	232	7,28	0,73	23,50
65Sn25Ag10Sn**	233	233	7,80		36,00
90In10Ag**	237	143	7,54	0,67	15,00
60Pb40Sn*	238	183	9,28	0,44	24,70
95Sn5Ag**	240	221	7,39		23,20
95Sn5Sb**	240	235	7,25	0,28	31,10
75Pb25In*	260	240	9,97	0,18	26,00
81Pb19In*	275	260	10,27	0,17	27,00
80Pb20Sn*	280	183	10,04	0,37	26,60

* Без свинца

** Со свинцом



ниже. Если говорить об объеме потребления паяльной пасты, то потребление бессвинцовой пасты превышает потребление свинцовой.

Поверхностное натяжение олова намного выше поверхностного натяжения свинца. Полное отсутствие свинца и увеличение олова примерно на 50% заметно увеличивает поверхностное натяжение бессвинцового сплава. Поверхностное натяжение сплава Sn60Pb40 составляет 481 мН/м. Поверхностное натяжение сплава SAC4 составляет 548 мН/м. Из-за этого при образовании бессвинцового паяного соединения не происходит «самовыравнивание» компонента относительно контактных площадок, как это происходит при использовании свинцосодержащей паяльной пасты. Вряд ли это можно отнести к недостаткам. Однако нужно учесть новые требования по точности монтажа и позиционированию компонентов.

Кроме этого, такие металлы, как олово и медь, окисляются быстрее, чем свинец, и их окислы сложнее удалять. Бессвинцовые сплавы нуждаются в более интенсивном нагреве, что способствует более быстрому окислению. Для предотвращения чрезмерного окисления целесообразно осуществлять пайку в азотной среде.

Еще одним отличием свинцовых и бессвинцовых сплавов является их время смачиваемости (табл. 3). Время смачиваемости сплава SnPbAg при температуре 245 °C составляет 8 мс. При увеличении температуры на 15 °C время смачиваемости уменьшится всего до 7 мс. Время смачиваемости SAC при температуре 245 °C составляет 460 мс, а при температуре 260 °C оно резко уменьшается до 10 мс. Более длительное время смачиваемости требует более длительного и интенсивного нагрева, что увеличивает энергозатраты. Необходимо использовать более мощные печи с двумя зонами пикового нагрева.

Если говорить о флюсе, то в бессвинцовом процессе он должен обеспечить смачиваемость наиболее трудносмачиваемых припоев и металлических поверхностей контактных площадок и компонентов, а также поддерживать более высокую температуру. Его активность должна быть выше. Более активный флюс уменьшает число окислов и улучшает смачиваемость. Кроме того, флюс для бессвинцового процесса должен обеспечивать достаточную термостабильность активаторов при высоких температурах.

Таблица 3. Основные параметры смачиваемости свинцовых и бессвинцовых сплавов

Тип сплава	Со свинцом		Без свинца		Без свинца	
	SnPbAg		SnAgCu		SnAg	
Температура плавления, °C	179		217		221	
Температура в печи, °C	245	260	245	260	245	260
Максимальная сила смачивания, μN	311	304	315	319	307	345
Время смачивания, мс	8	7*	460*	10*	720	124*

* Большие энергозатраты (нагрев) из-за более длительной смачиваемости

Очень важным моментом в технологическом процессе поверхностного монтажа является допустимый интервал изменения температуры. Проще говоря, это температурный диапазон, внутри которого технолог может «играть», повышая или понижая температуру пайки для достижения оптимального результата. Понятно, что чем больше будет этот диапазон, тем проще наладить техпроцесс.

Верхним пределом данного диапазона является максимально допустимая температура пайки. Обычно она составляет 247–250 °C. Это температурный предел, превышение которого может повредить компонентам.

А нижний предел будет зависеть от некоторых факторов. Давайте более подробно их рассмотрим.

Для начала проанализируем температуру пайки обычного техпроцесса. Из чего складывается температура пайки? Во-первых, это температура плавления сплава; она составляет 183 °C (Sn63Pb37). Во-вторых, нужно учесть 10 °C на диффузию металлов и 0/+5 °C на ее погрешность. В-третьих, следует учесть ΔT печи. Среднее значение ΔT для всех конвекционных печей, используемых в промышленности, составляет примерно 10 °C. И, наконец, ΔT контактных площадок и контактов компо-

нентов — тоже примерно 10 °C. Складывая все параметры, мы получаем температуру пайки 215–218 °C. Остается большой допустимый интервал изменения температуры.

Теперь проанализируем температуру пайки с использованием бессвинцового припоя SAC. Если просто перенести все параметры из обычного «свинцового» техпроцесса, то получим: температура плавления припоя 217 °C, диффузия +10 °C, допуск +5 °C, ΔT печи +10 °C, ΔT контактных площадок и компонентов +10 °C. Получается 247–250 °C — допустимого интервала изменения температуры нет.

Из этого можно сделать вывод, что в большинстве случаев оставить параметры техпроцесса без изменения при переходе к бессвинцовой технологии не удастся.

Какие меры необходимо предпринять? Диффузия и ее погрешность останутся неизменными как физическое явление, а вот снизить ΔT печи и ΔT контактных площадок и компонентов можно. ΔT современных многозонных конвекционных печей становится все ниже и ниже. Например, ΔT даже компактной печи Compact 2 фирмы Rehm составляет всего ± 2 K. ΔT контактных площадок и компонентов можно снизить путем использования более качественных компо-

нентов и печатных плат. Дело в том, что отклонения размеров контактов чип-компонентов четко определены стандартами, и не все производители их соблюдают (отклонения размеров контактов чип-компонентов были приведены в статье «Причины возникновения и способы борьбы с эффектом надгробного камня», «ТвЭП» № 4'2005).

Вывод

В заключение хочется еще раз подчеркнуть, что перейти на бессвинцовую технологию не получится только лишь сменой паяльных материалов. Повышение температуры процесса приведет к чрезмерному окислению металлических поверхностей контактов компонентов и контактных площадок, силы поверхностного натяжения бессвинцовых сплавов выше, потребуются более интенсивный нагрев из-за увеличенного времени смачивания и т. д.

Чтобы быть полностью готовыми к данным изменениям процесса, необходимо снизить ΔT печи и компонентов, использовать конвекционные печи с азотной средой и двойной зоной пикового нагрева, применять высокоточные автоматические установщики компонентов.

Таким образом, переход на бессвинцовую пайку влияет не только на технологический процесс, но и на организацию всего производства. От того, насколько серьезно каждое конкретное производство подойдет к решению задачи по переходу на бессвинцовую пайку, будет зависеть, насколько успешно будет это производство после 1 июля 2006 года. ■