

Андрей Черняк | Виталий Щекин | info@alphametals.ru

Начало в №5'2013

Эксперимент по изучению надежности паяных соединений светодиодов

В связи с быстрым развитием отечественного производства светодиодной осветительной продукции становится актуальной проблема обеспечения ее надежности. Большая стоимость, несмотря на значительно меньшую потребляемую мощность, обуславливает более длительный срок окупаемости, и, таким образом, именно высокая надежность обеспечивает рентабельность светодиодных изделий и подтверждает выгодность их применения. Основными возможными причинами преждевременных отказов светодиодной осветительной техники являются: работа при завышенном токе; отказы блока питания светодиодного модуля; деградация люминофора и кристалла вследствие повышенной температуры; дефекты паяных соединений. Если первые

две причины возникают, как правило, в результате экономии на компонентах и из-за неправильно рассчитанного рабочего режима, то две другие связаны с технологией производства, и их влияние можно только снизить, но не устранить совсем.

В данной статье мы продолжаем описание исследования, проведенного для определения паяльных материалов, позволяющих производителям получить наиболее надежное паяное соединение. В ходе исследования испытывались серийно производимые платы светодиодных модулей, всего было изучено девять типов паяльных паст: пять бессвинцовых и четыре свинецосодержащих (таблица).

На первом этапе проведено рентгеновское тестирование образцов плат для количественного изучения пустот в паяных соединениях,

а также инфракрасное термографирование. Результаты были представлены в предыдущей статье, поэтому на них остановимся вкратце. Рентгенографирование показало допустимое (согласно стандарту IPC J-STD-001E) количество образования пустот в толще припоя, хотя для бессвинцовых паст это выражено сильнее вследствие большего коэффициента поверхностного натяжения. Было отмечено значительно большее образование пустот для плат с финишным покрытием контактов иммерсионным золотом по сравнению с другими типами покрытий. При термографировании заметной зависимости между типом паяльной пасты и тепловым режимом светодиодного модуля не выявлено, поскольку прочие факторы (как то: площадь теплоотвода, тип светодиода, и пр.) играют более значительную роль.

Т а б л и ц а . Типы исследуемых паяльных паст

№ образца пасты	Тип припоя	Тип порошка припоя	Содержание металла (% от веса)	Тип флюса	Наименование пасты
1	SAC305	3	88,5	ROL 0	ALPHA Lumet P33
2	SAC305	3	88,5	ROL 0	Qualitek 862
3	SACX PLUS 0807	4	88,8	ROL 0	ALPHA Lumet P39
4	Sn62Pb36Ag2	3	89,5	ROL 0	Multicore MP218
5	Sn62Pb36Ag2	3	90,0	ROL 0	ALPHA OM-5300
6	SAC305	3	88,5	REL 0	AIM NC254
7	Sn62Pb36Ag2	3	90,5	RMA	Union Soltek G4(A)-SM833
8	Sn62Pb36Ag2	3	90,0	ROL 0	Indium NC-92
9	Sn42Bi57.6Ag0.4	3	90,0	ROL 0	ALPHA CVP-520

Описание проводимого эксперимента

Для оценки долговечности электронных модулей и компонентов широко распространена практика форсированных испытаний, в которых платы подвергают искусственному старению различными способами. Самая распространенная методика — термоциклирование, то есть испытание в условиях циклически меняющейся температуры, что ускоряет процессы деградации материалов, диффузии и окисления. В зависимости от жесткости условий испытания изменение температуры может быть резким или плавным. Исследуемые платы подвергались 30-минутным циклам термоциклирования при температурах $-65...+105$ °C (рис. 1). Границы температурного диапазона были сдвинуты в сторону отрицательных значений по просьбе заинтересованных в эксперименте производителей светодиодной продукции, ориентированных на потребности заказчиков из регионов Крайнего Севера, Арктики и Антарктики, например полярной станции «Восток», работающей в условиях экстремально низких температур.

Из-за различия коэффициентов теплового расширения печатной платы и компонентов при перепаде температур возникают механические напряжения, циклическое повторение которых вызывает образование усталостных трещин, чей рост может вызвать прерывание

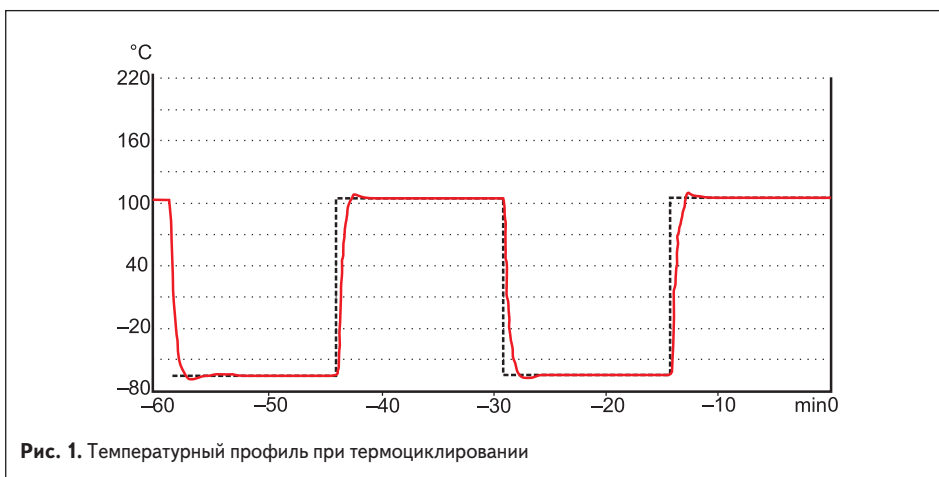


Рис. 1. Температурный профиль при термоциклировании

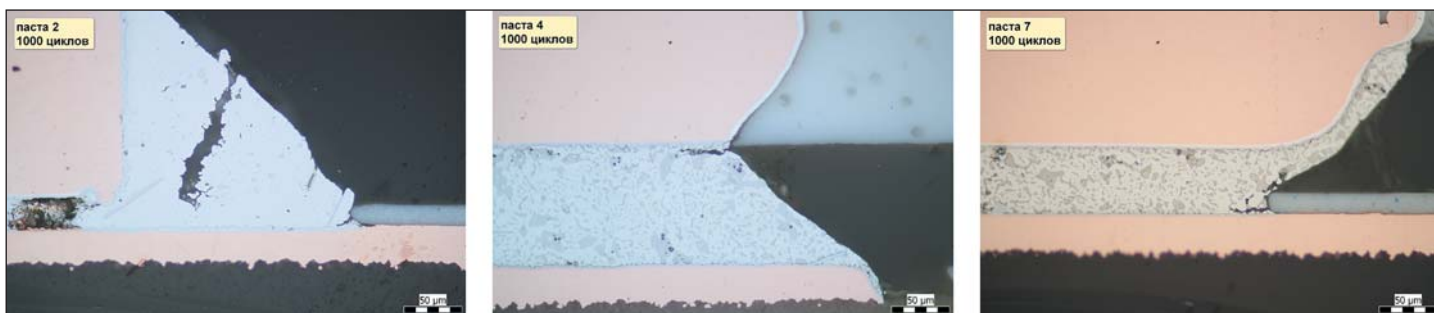


Рис. 2. Локализация начала трещин в галтели

контакта. Кроме того, воздействие повышенных температур увеличивает скорость роста интерметаллических слоев, образующихся из-за взаимного растворения металлов на границе соприкосновения, что негативно сказывается на механической прочности паяного соединения вследствие образования пор Киркендалла и появления механических напряжений в связи с изменением молярного объема, и может способствовать его окислению.

По причине большой площади контакта светодиодов с платой термоциклирование до отказа не представляется целесообразным, поэтому было проведено 1000 циклов для оценки скорости роста интерметаллических слоев и появления усталостных дефектов в галтели припоя.

Фазы в исследуемых сплавах

Поскольку в исследуемых паяльных пастах используются разные типы припоев, очевидно, что и внутренняя структура паяного соединения будет различаться. Рассмотрим ее подробнее. При отверждении припоев происходит их разделение на фазы, продолжающееся с течением времени.

Традиционный оловянно-свинцовый припой представляет собой структуру с перемежающимися слоями двух металлических фаз: олова с примерно 2% свинца и свинца с приблизительно 20% олова.

Бесвинцовый припой SAC305 начинает кристаллизоваться при температуре 217 °С. Так как состав сплава близок к тройной эвтектике, кристаллизация происходит при постоянной температуре. Эвтектика состоит из трех фаз — олова и интерметаллических соединений (ИМС) Cu_6Sn_5 и Ag_3Sn . Сначала из расплава выделяются кристаллы олова. Причем олово кристаллизуется в виде относительно крупных зерен — дендритов (этим объясняется шероховатая поверхность бесвинцовых паяных соединений). При достижении концентрации расплава, соответствующей эвтектике, в междендритных пространствах кристаллизуется эвтектика из олова и ИМС Cu_6Sn_5 и Ag_3Sn . Окончательная структура сплава представляет собой дендриты олова и эвтектику из олова и интерметаллических соединений Cu_6Sn_5 и Ag_3Sn в междендритных пространствах. Также в толще припоя формируются пластинчатые интерметаллиды Ag_3Sn , вдоль которых может идти распространение

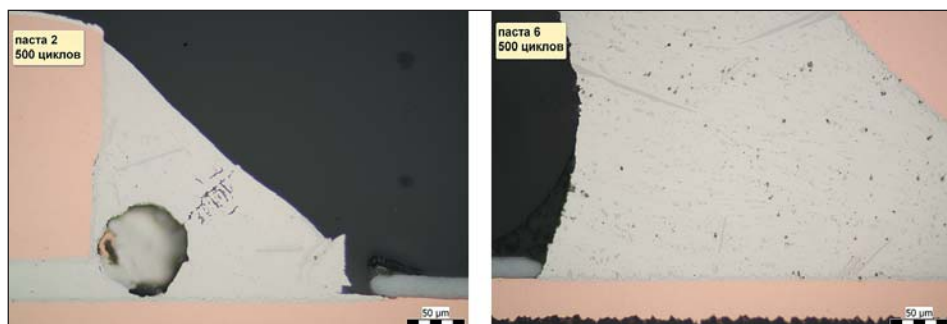


Рис. 3. Влияние пустот на прочность галтели припоя

трещины. Исследования [1] показывают, что при пайке бессвинцовыми припоями на границе припоя и медной подложки образуется ИМС Cu_6Sn_5 , а $CuSn_3$ появляется в процессе старения между слоем Cu_6Sn_5 и меди.

Сплав Sn-Bi-Ag применяется для пайки термочувствительных элементов. При кристаллизации происходит разделение на фазы, богатые оловом и висмутом соответственно. При содержании серебра более 1% происходит образование интерметаллидов Ag_3Sn , при концентрациях меньше 0,5% их возникновения не отмечено.

Локализация микротрещин в паяном соединении

Локализация зарождения трещин аналогична другим SMD-компонентам — в местах наибольшего механического напряжения,

а именно вдоль интерметаллических слоев (чаще у подложки, чем у компонента, из-за соприкосновения с паяльной маской) и в толще галтели под углом примерно 45° (рис. 2). Отрыва ИМС от подложки отмечено не было.

Кроме того, наличие крупных пустот значительно ослабляет прочность галтели и ускоряет образование трещин, как показано на рис. 3. Данный пример относится к исследуемой пасте под номером 2, однако образование трещины при таком дефекте ускорится для любого типа припоя. При этом мелкие распределенные пустоты не влияют на прочность паяного соединения.

Графики скорости роста интерметаллического слоя

На рис. 4 показан рост толщины интерметаллического слоя при термоциклировании

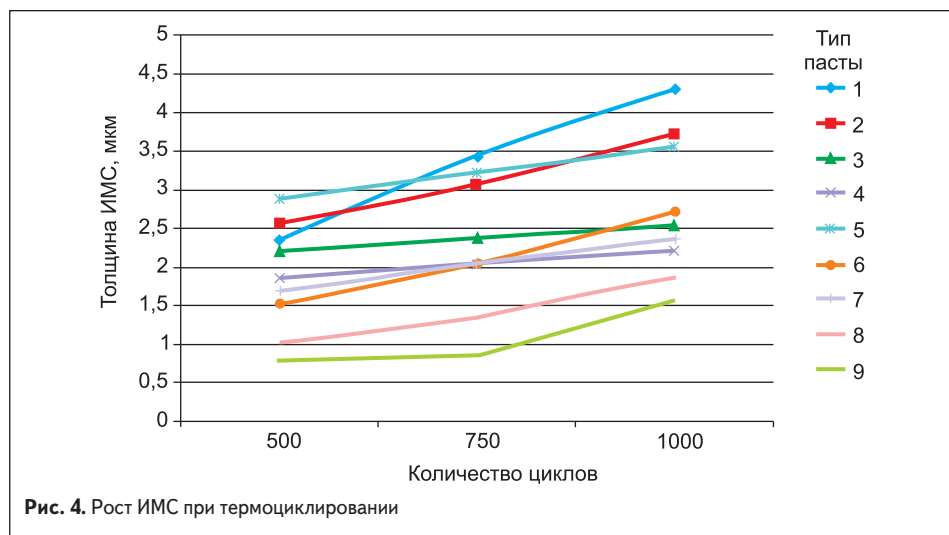


Рис. 4. Рост ИМС при термоциклировании

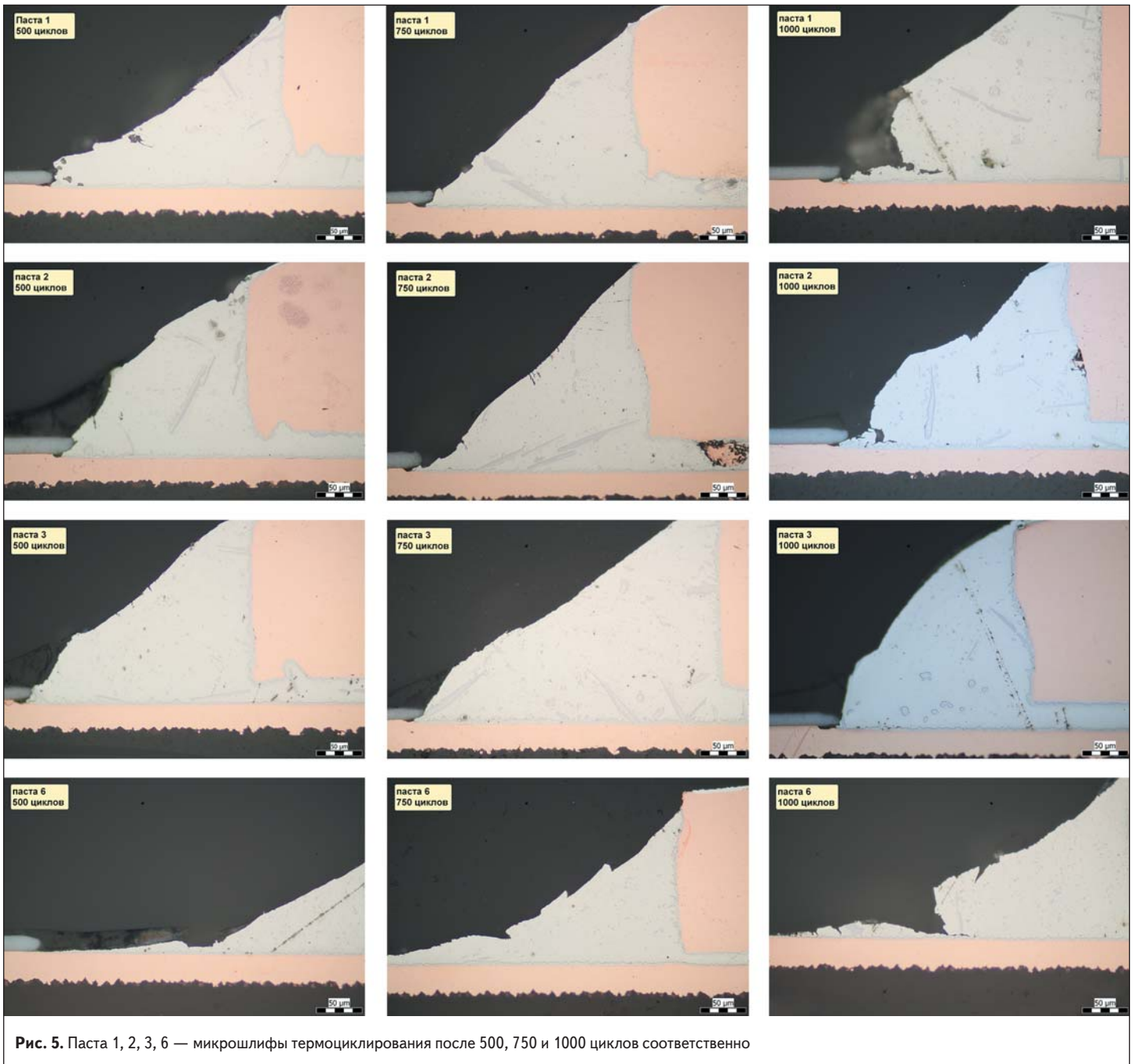


Рис. 5. Паста 1, 2, 3, 6 — микрошлифы термоциклирования после 500, 750 и 1000 циклов соответственно

для разных типов паст. Следует сказать, что максимальная начальная толщина интерметаллического слоя зависит от температуры оплавления. Наибольшая толщина ИМС отмечена у бессвинцовых припоев SAC305, наименьшая — у легкоплавкого оловянно-висмутового припоя. Также можно отметить гораздо более быстрый рост ИМС неравномерной толщины со стороны компонента, то есть финишные покрытия на плате снижают проникновение меди в толщу припоя и скорость образования интерметаллидов.

Сравнение устойчивости сплавов к термоциклированию

Бессвинцовые пасты 1, 2 и 3 на платах с финишным покрытием OSP и покрытием

выводов компонентов чистым оловом показали близкие результаты (рис. 5). После термоциклирования не отмечено значительных трещин в галтели. Появившиеся трещины образовывались у основания галтели, но в толще припоя, а не на границе с ИМС. Для паст 1 и 2 отмечена незначительно большая толщина ИМС со стороны компонента по сравнению с пастой 3.

У образцов с пастой 6 есть значительное количество мелких пустот, не замеченных при рентгенокопии, очевидно, вследствие недостаточного разрешения (рис. 7). Хотя это и не влияет на прочность паяного соединения, они могут служить центрами инициации роста интерметаллидов. Следует изменить тип флюса для уменьшения количества растворенных в расплаве газов либо скорректировать профиль оплавления.

Несмотря на одинаковый состав припоя, оловянно-свинцовые пасты 4, 5, 7, 8 показали различные изменения в структуре сплава при термоциклировании (рис. 6). Для пасты 4 наблюдается значительно большее образование интерметаллидов Ag_3Sn (однако их влияние на прочность и долговечность паяного соединения еще не до конца изучено). Для образца с пастой 8 отмечены самые длинные трещины из обнаруженных (уже после 500 циклов). Тем не менее они не привели к полному обрыву контакта из-за его большой площади (рис. 8).

Надо сказать, что меньшая толщина галтели (самые низкие значения у образцов с пастой 6 для бессвинцовых паст и пастой 7 для свинецсодержащих) ослабляет ее и приводит к более быстрому образованию трещин.

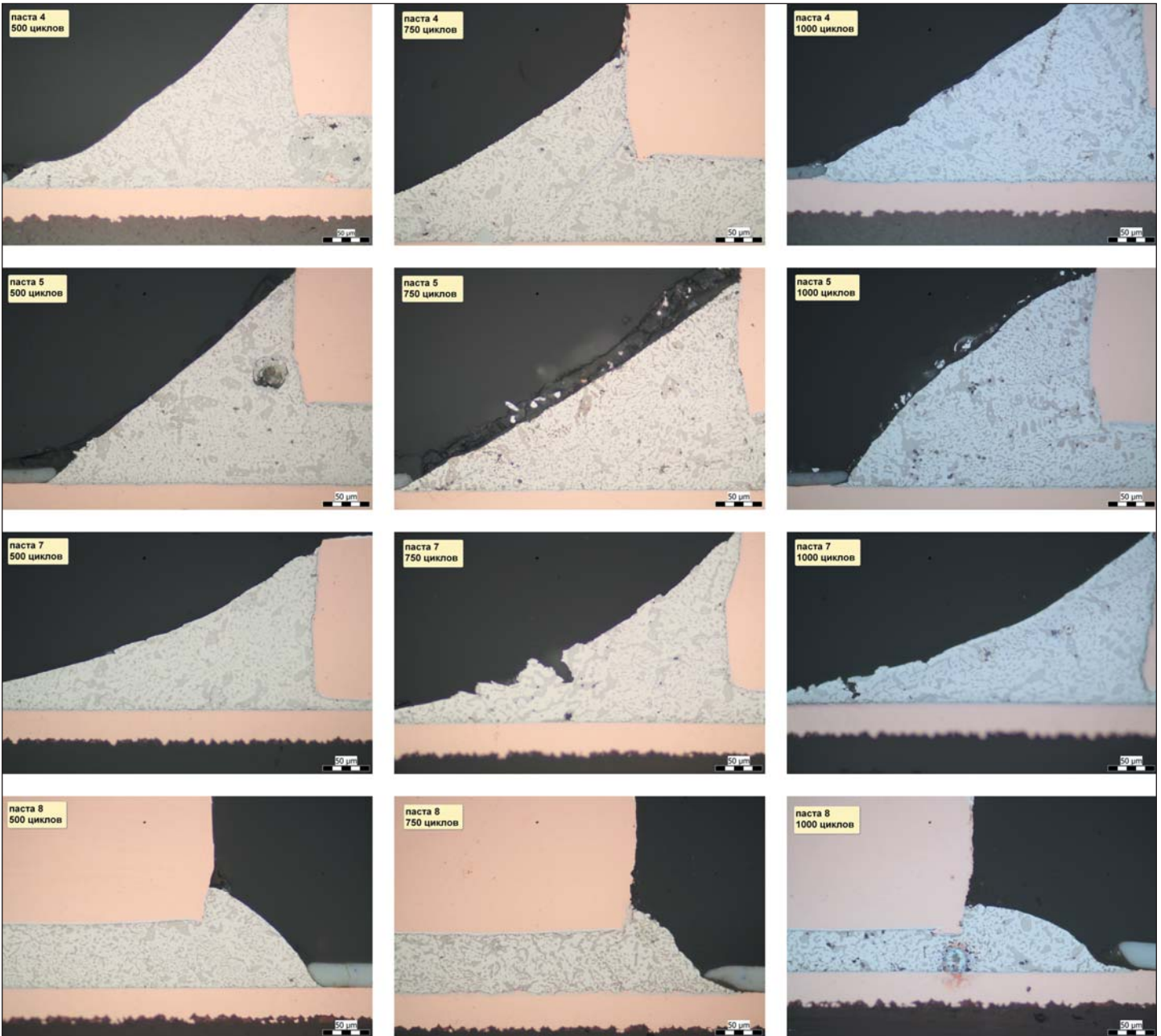


Рис. 6. Sn-Pb-Ag пасты 4, 5, 7, 8 после 500, 750 и 1000 циклов

Примечательно, что образец с пастой 9 не показал практически никаких изменений во время термоциклирования (рис. 9). Это объясняется наличием висмута в составе припоя, который

повышает пластичность сплава. До недавнего времени главными недостатками оловянно-висмутовых припоев было принято считать невысокую механическую прочность и слабое

смачивание. Однако, как было сказано в предыдущем исследовании, паяльная паста 9 показала наилучшее смачивание среди представленных образцов. Кроме того, по итогам исследования [2]

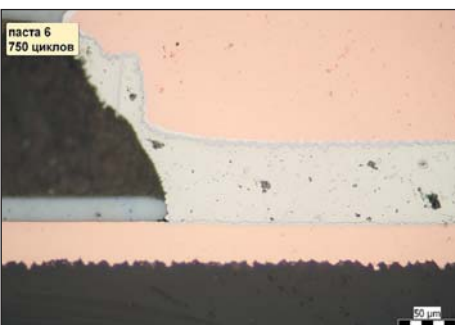


Рис. 7. Мелкие пустоты в толще припоя



Рис. 8. Паста 8 — трещины в галтели после 500 циклов



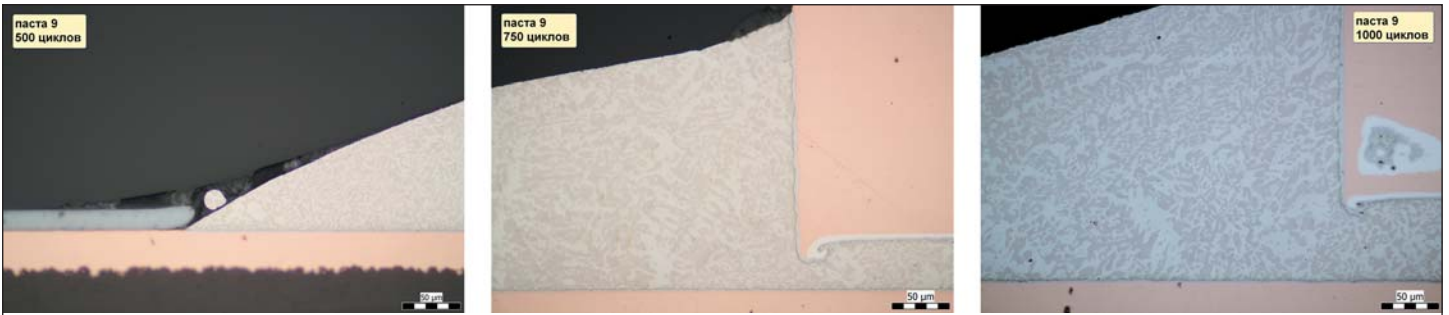


Рис. 9. Оловянно-висмутовая паста 9 — микрошлифы термоциклирования после 500, 750 и 1000 циклов соответственно

можно утверждать, что сплав Sn-Bi при термоциклировании по своим характеристикам, в том числе по прочности, превосходит Sn-Pb, что может показаться неожиданным из-за близости верхней температуры термоциклирования точке плавления припоя. Однако высокая пластичность и эвтектическая структура сплава предотвращают отслаивание галтелей. Рост ИМС для пасты со сплавом Sn-Bi также наименьший из представленных образцов.

На основании результатов исследования производителям были предложены следующие рекомендации по устранению дефектов паяных соединений:

- Образование пустот.

Скорректировать термопрофиль оплавления (а именно участок предварительного нагрева, где происходит испарение летучих компонентов паяльной пасты), сменить тип паяльной пасты либо применять пайку в вакууме, что, однако, повлечет значительные финансовые затраты на дооборудование линии.

- Образование шариков припоя.

Изменить конфигурацию апертур трафарета и заменить тип паяльной пасты.

- Недостаточная толщина галтелей.

Сменить тип паяльной пасты и изменить рисунок паяльной маски, в месте контакта с которой образуется начальная трещина.

В результате исследования в технологический процесс предприятий, участвовавших в эксперименте, были внесены коррективы, позволившие оптимизировать производство, получить более качественное формирование галтелей, а также снизить количество дефектов. У специалистов на предприятиях возникло четкое понимание технологических процессов оплавления. Ими было отмечено повышение качества пайки при использовании паст 1 и 3. Учтены рекомендации в подготовке паяльной пасты перед применением, что обеспечило высокую повторяемость нанесения и увеличило время жизни пасты на трафарете.

Также большой интерес вызвали практические результаты тестирования пасты 9, заинтересовавшие нескольких производителей, особенно специализирующихся на изготовлении светодиодной продукции для умеренно-континентальных и арктических климатических зон.

Заключение

В данном исследовании проведено сравнение устойчивости паяных соединений осветительных светодиодов к термоциклированию. Были исследованы серийно выпускаемые платы отечественного производства с использованием свинецсодержащих и бессвинцовых паяльных паст и различных финишных покрытий. Отмечена зависимость

начальной толщины интерметаллического слоя от верхней температуры профиля оплавления. Обнаружено, что инициация трещин происходит в основном у основания галтели в месте контакта с паяльной маской либо в местах дефектов пайки (таких как крупные пустоты), ослабляющих галтель. Не было отмечено существенных изменений в структуре припоя Sn-Bi-Ag на протяжении всего периода термоциклирования.

Авторы статьи выражают благодарность компаниям ALPHA (Alent Plc.), ООО «Завод «Световые Технологии», ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника», ОАО «Орбита», ООО «Эдвин» за сотрудничество и предоставленные образцы печатных плат и паяльных материалов.

Литература

1. Effect of Thermal Stress and Constitution of Lead-Free Soldering Alloys on Creation and Growth of IMC, T. Novak, F. Steiner, 2010.
2. Residual Shear Strength of Sn-Ag and Sn-Bi Lead-Free SMT Joints After Thermal Shock, N. M. Poon, C. M. Lawrence Wu et al., IEEE transactions on advanced packaging, vol. 23, no. 4, November, 2000.