

В.В. Зубарев, Т.И. Лавренова, С.В. Ленков, А.Н. Перегудов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН И МЕХАНИЗМОВ ДЕФЕКТОВ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Представлены результаты исследований качества паяных соединений на физико-химическом уровне, а также влияния условий и режимов технологических процессов пайки на структуру припоя на поверхности печатных плат. Изучена зависимость характера зернистости структуры припоя и коэффициента его растекаемости от времени выдержки в расплавленном состоянии. Исследована зависимость сопротивления изоляции печатных плат от времени выдержки в камере влажности и изучены механизмы деградации припоя при этом.

Сегодня одной из важнейших является проблема повышения конкурентоспособности отечественной продукции. Она существует даже в таком приоритетном направлении, как авиастроение. И объясняется это, в первую очередь, качеством и надежностью приборов и изделий радиоэлектроники.

Действительно, надежность любого изделия является важнейшим показателем его конкурентоспособности. Особо остро проблема надежности стоит для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) как для наиболее сложной и наукоемкой продукции. Решение этой проблемы сегодня осуществляется по нескольким основным направлениям: например, дублирование, резервирование. Однако наиболее эффективным является обеспечение безотказности РЭА, которое предусматривает решение комплекса следующих взаимосвязанных задач [1] - [4]:

- комплектации РЭА высоконадежными компонентами, в том числе изделиями электронной техники (ИЭТ);
- структурного проектирования систем и комплексов РЭА, исключающего возникновение аварийных ситуаций, сбоев, несанкционированной работы как в штатном, так и в аварийном режимах работы;
- схемно-технической реализации узлов, блоков, систем и комплексов РЭА, исключающей возможность возникновения перегрузок, сбоев, зависимых отказов и т.п.;
- организации эффективного входного контроля при изготовлении РЭА, позволяющего выявлять все скрытые дефекты ИЭТ и материалов, которые могут привести к отказам;
- обеспечения "бездефектной" сборки узлов, модулей, блоков, систем и комплексов РЭА;
- повышения эффективности технологических тренировочных прогонов РЭА (с целью "выжигания" остаточных дефектов), не вносящих при этом новые дефекты и не снижающих ресурс РЭА.

Как показывают результаты практических исследований, основными причинами отказов РЭА в эксплуатации являются [1] - [2]; [4] - [7]:

- дефекты ИЭТ и материалов;
- недостатки и ошибки при проектировании РЭА;
- нарушения и недостатки производства РЭА.

Одним из наиболее распространенных недостатков производства аппаратуры являются дефекты паяных соединений [1] - [2]. Особая опасность этих дефектов заключается в их частую перемежающемся характере, что, с одной стороны, не позволяет их выявлять (диагностировать), а с другой - их не принимают во внимание оператор, следящие системы,

компьютеры, что может обусловить принятие неправильных решений или даже привести к аварии.

Настоящая статья посвящена исследованиям одних из наиболее распространенных причин дефектов паяных соединений.

При изготовлении бортовой РЭА широкое применение получили сплавы легкоплавких металлов (олово – свинец Sn – Pb) и защитные покрытия выводов ИЭТ на их основе, применяемые для создания неразъемных паяных соединений. Однако реальное состояние (уровень) технологии низкотемпературной пайки до настоящего времени остается неудовлетворительным. Процент производственного брака, обусловленный неудовлетворительным качеством пайки узлов и блоков РЭА, как показывает практика, может достигать 20 %. Установлено, что изготовители РЭА и комплектующих ее изделий для уменьшения процента производственного брака зачастую нарушают требования, предусмотренные нормативно-технической документацией (НТД), повышая температуру пайки до + 280 °С. Известно также, что для улучшения качества пайки на производстве используют более активные флюсы, которые затем в процессе эксплуатации снижают коррозионную устойчивость паяных соединений и сопротивление изоляции диэлектриков. Кроме того, в процессе создания паяных соединений (горячее лужение и пайка погружением в стационарных ваннах расплава, пайка волной припоя) изготовители РЭА обычно не меняют припой в своих установках в течение ряда лет, проводя лишь корректировку его состава, что, как показывают данные исследования, недопустимо при производстве РЭА особого назначения. Длительная эксплуатация расплава приводит к снижению качества паяных соединений, а следовательно, и к снижению надежности аппаратуры в целом. Так, например, отказы аппаратуры, связанные с разрушением паяных соединений на печатных платах (ПП) (рис. 1), наблюдаются уже через год эксплуатации изделий.

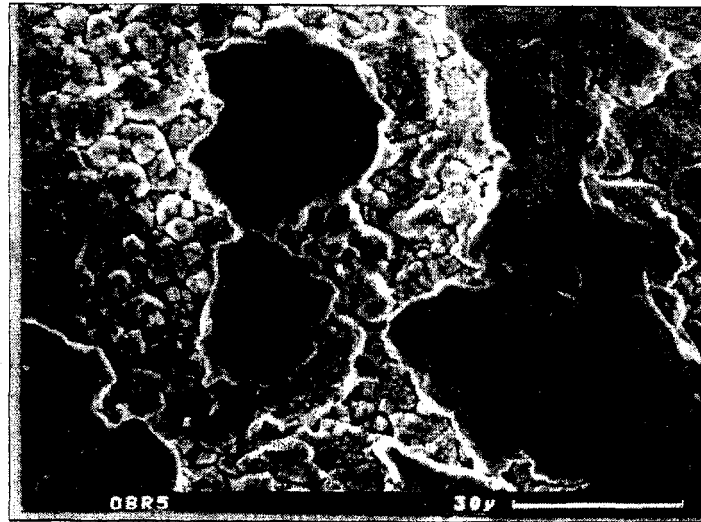


Рис. 1. Межзеренное разрушение структуры паяного соединения на поверхности ПП после 12 месяцев эксплуатации изделия (растровый электронный микроскоп (РЭМ); режим вторичных электронов (ВЭ); 700-кратное увеличение)

Рекомендации по периодичности полной замены припоя в НТД отсутствуют. Для определения периодичности схемы припоя необходимо знание факторов, влияющих на его эксплуатационные характеристики, чему и посвящена настоящая работа. Следует отметить, что все результаты исследований получены для эвтектического припоя ПОС-61, наиболее широко применяющегося при низкотемпературной пайке.

Для исследования влияния длительности эксплуатации припоя на его технологические характеристики (структура, коэффициент растекаемости) были отобраны пробы припоя

ПОС-61 из стационарной лудильной ванны с разным временем выдержки его в расплавленном состоянии ($T = 250 \pm 5^\circ \text{C}$): 1, 2, 3, ..., 10 ч. Исследования структуры припоя проводились на РЭМ в режиме отраженных электронов (ОЭ).

В состоянии поставки припой ПОС-61 имеет пластинчатую эвтектическую структуру (рис. 2).

Установлено, что при двухчасовой выдержке расплава наблюдается процесс вырождения пластинчатой структуры эвтектики (рис. 3) с последующей частичной и полной деградацией эвтектики после восьми-десятичасовой выдержки (рис. 4, 5).

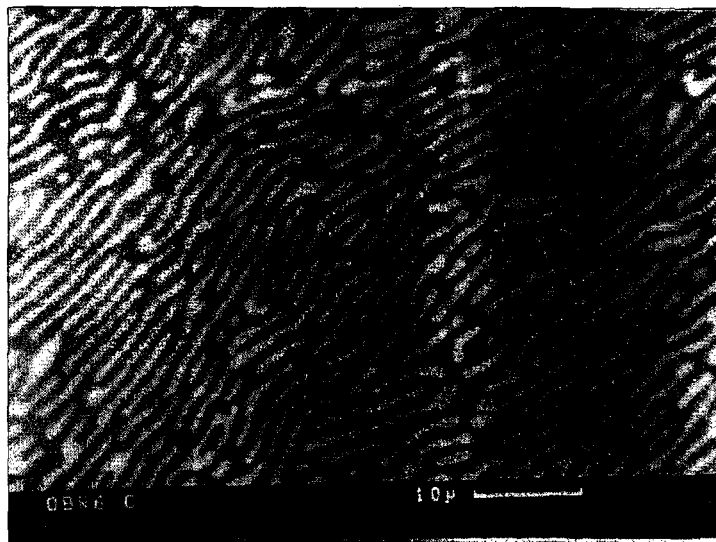


Рис. 2. Микроструктура припоя ПОС-61 в состоянии поставки (РЭМ; режим ОЭ; 1400-кратное увеличение)

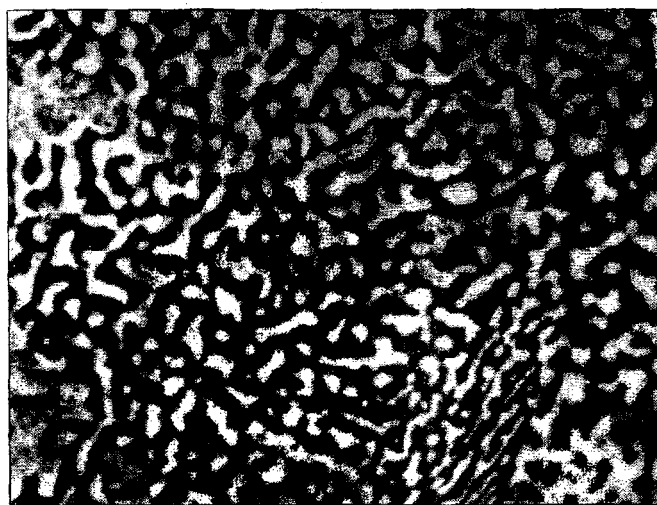


Рис. 3. Микроструктура припоя ПОС-61 (время выдержки 2 ч; РЭМ; режим ОЭ; 1400-кратное увеличение)

Для выяснения влияния структурных изменений припоя на качество пайки были проведены исследования зависимости его коэффициента растекаемости K_p от времени выдержки в расплавленном состоянии (рис. 6).

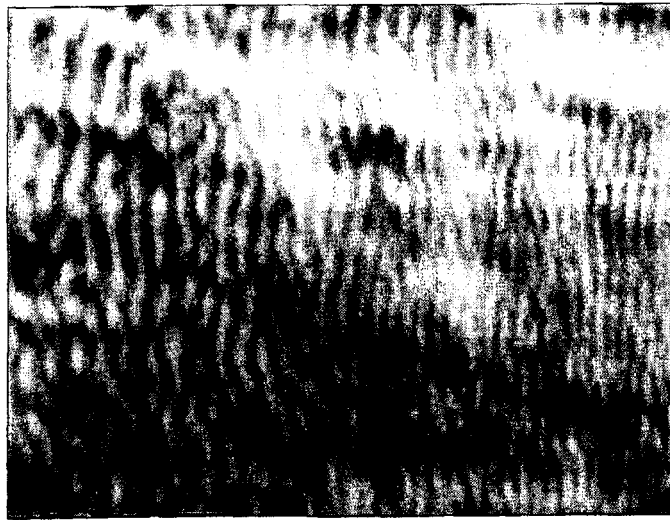


Рис. 4. Микроструктура припоя ПОС-61
(время выдержки 8 ч; РЭМ; режим ОЭ; 1400-кратное увеличение)

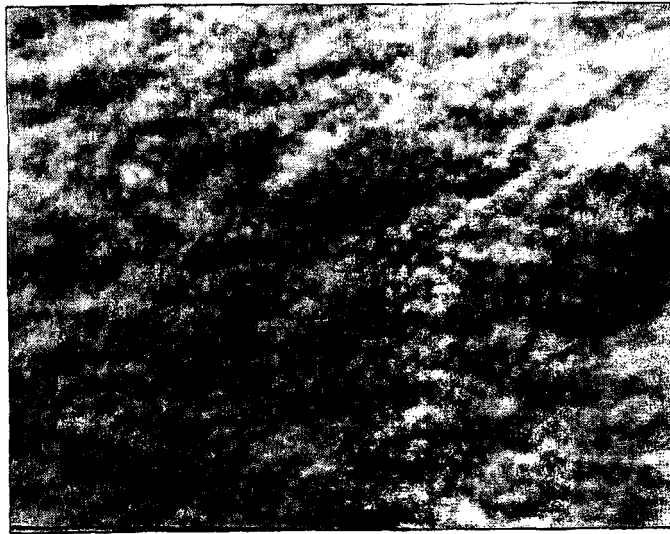


Рис. 5. Микроструктура припоя ПОС-61
(время выдержки 10 ч; РЭМ; режим ОЭ; 1400-кратное увеличение)

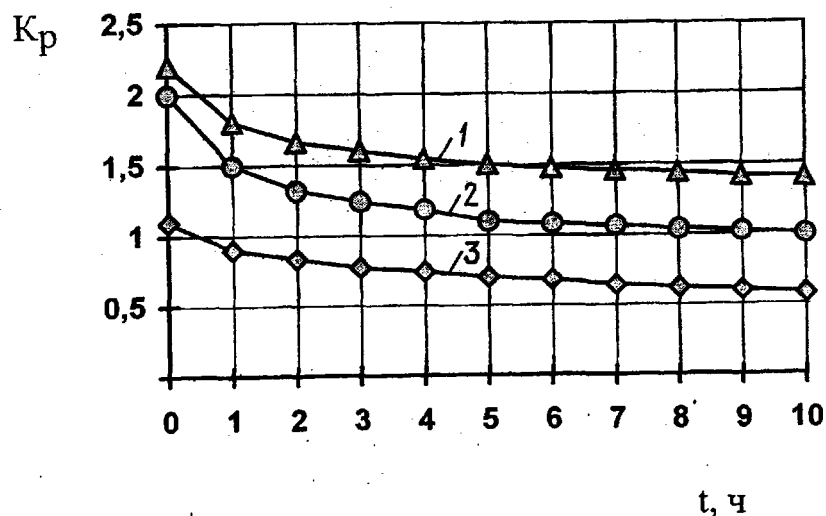


Рис. 6. Зависимость коэффициента растекаемости припоя K_p , ПОС-61 (по меди) от времени его выдержки t в расплавленном состоянии ($T = +250^\circ \text{C}$):
1 - ФКТ, 2 - ФКДТ, 3 - ФКСп

Измерения коэффициента растекаемости K_p проводились по методике ОСТ 4 ГО.033.200 с использованием трех различных по своей активности флюсов (ФКСп, ФКТ, ФКДТ), обычно применяемых при пайке изделий спецтехники.

Исследования показали, что эксплуатация припоя (более одной рабочей смены) приводит к снижению коэффициента растекаемости K_p для малоактивного низкокоррозионного флюса ФКСп в 1,9 раза, более активных ФКДТ – в 2 раза и ФКТ – в 1,6 раз. Это приводит к тому, что изготовители РЭА, не зная причины ухудшения паяемости, вынуждены использовать при пайке высокоактивные, а следовательно, более коррозионные флюсы, снижающие сопротивление изоляции ПП, что особенно опасно при эксплуатации.

Влияние некоторых флюсов на сопротивление изоляции ПП, помещенных в камеру влажности, показано на рис. 7.

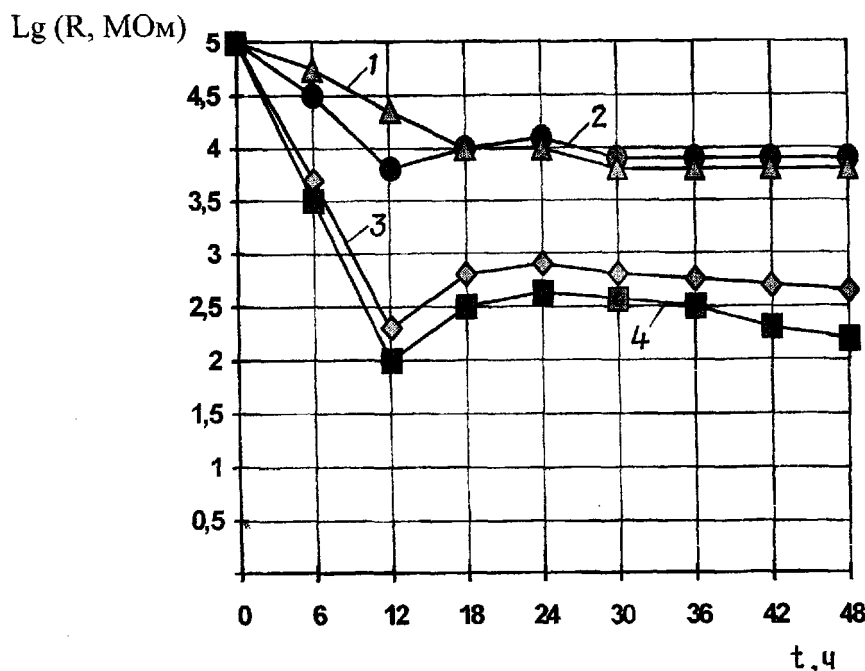


Рис. 7. Зависимость сопротивления изоляции ПП от времени выдержки в камере влажности (относительная влажность 95–98 %, температура $T = +40^\circ\text{C}$):
1 – ФКСп; 2 – ФПЭт; 3 – ФКТ; 4 – ФКДТ

Как видно из рис. 7, наибольшее сопротивление изоляции ПП, что чрезвычайно важно для особо ответственной РЭА с высокой плотностью печатного монтажа, обеспечивают лишь слабоактивные флюсы типа ФКСп и ФПЭт, которые, в свою очередь, не обеспечивают удовлетворительное качество пайки при длительной эксплуатации припоев.

Кроме того, установлено, что высокоактивные флюсы (особенно содержащие хлористые соединения) приводят к коррозионному разрушению паяных соединений в процессе эксплуатации изделий (рис. 8).

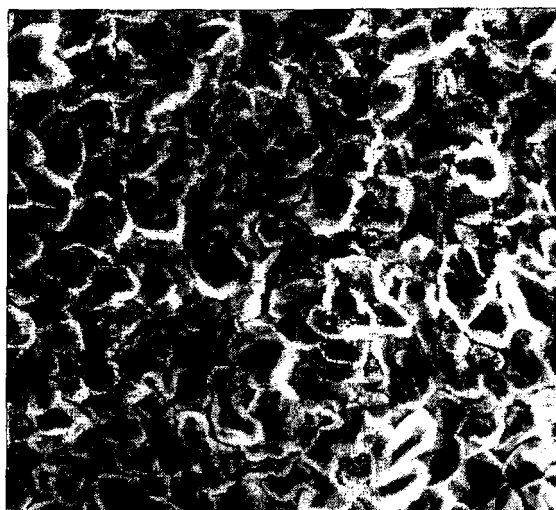


Рис.8. Разрушение припоя из-за коррозионного воздействия остатков флюса (РЭМ; режим ВЭ; 1400-кратное увеличение)

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Одной из основных, тяжело выявляемых и сложно диагностируемых причин отказов РЭА являются дефекты паяных соединений. Особую опасность эти дефекты представляют для бортовой аппаратуры, поскольку они стимулируются вибрациями.

2. Дефекты паяных соединений преимущественно обусловлены недостатками (сбоями) технологических процессов пайки.

3. В производстве РЭА не следует использовать припой более одной рабочей смены, потому что его длительная эксплуатация снижает качество пайки и требует применения высокоактивных флюсов. Поскольку частая смена припоя экономически нецелесообразна, рекомендуется использовать установки пайки с таким объемом, при котором будет происходить полный расход припоя за одну смену, либо использовать технологии, исключющие длительную эксплуатацию расплавов (пастообразное нанесение припоев, ручная пайка и т.п.).

Список литературы

1. Ленков С.В. Обеспечение надежности РЭА. – К.: ГАЛПУ, 1997. – 148 с.
2. Ленков С.В., Зубарев В.В., Лукомский В.Г., Мокрицкий В.А., Фишер З.А. Современные технологии обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры на этапах проектирования и производства /Одесса. – Ин-т пробл.крит. технологий и надежности радиоэлектроники. – К., 1996. – 33 с. – Деп. в УкрИНТЭИ 12.12.96, № 254. – Ук96.
3. Ленков С.В., Фишер З.А. Надежностно-ориентированное управление технологией производства РЭА // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1993. – № 2. – С. 3–5.
4. Груничев А.С., Однодушнов А.В., Якимов П.Ф. Обеспечение надежности радиоэлектронной аппаратуры и комплектующих изделий при эксплуатации. – М.: Сов. радио, 1976. – 240 с.

5. *Ленков С.В., Зубарев В.В., Тариелашвили Г.Т.* Физико-технический анализ причин отказов ЭРИ в составе РЭА // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* – 1997. – № 3. – С. 31–33.

6. *Некрасов М.М., Платонов В.В., Дадеко Л.И.* Испытания элементов радиоэлектронной аппаратуры. Физические методы надежности. – К.: Вища шк., 1982. – 304 с.

7. *Бережной В.П., Дубицкий Л.Г.* Выявление причин отказов РЭА. – М.: Радио и связь, 1983. – 232 с.

Стаття надійшла до редакції 19 лютого 1999 року.

Валерій Володимирович Зубарев (1951) закінчив Одеський політехнічний інститут у 1973 році. Кандидат технічних наук, заступник міністра Мінпромполітики. Спеціалізується в галузі надійності та новітніх технологій у радіоелектроніці. Автор 21 наукової статті.

Valeryi V. Zubarev (b. 1951) graduated from Odessa Polytechnical Institute (1973). PhD (Eng), Deputy Minister of Ministry of Industrial Policy. Specializes in the field of reliability and the newest technologies in radioelectronics. Author of 21 publications.

Тетяна Іванівна Лавренова (1962) закінчила Одеський державний університет у 1985 році. Молодший науковий співробітник Інституту проблем критичних технологій та надійності радіоелектроніки. Спеціалізується в галузі надійності та новітніх технологій у радіоелектроніці. Автор 9 наукових статей.

Tatiana I. Lavrenova (b. 1962) graduated from Odessa State University (1985). Junior researcher of the Institute of Problems of Critical Technology and Radioelectronics reliability. Specializes in the field of reliability and the newest technologies in radioelectronics. Author of 9 publications.

Сергій Васильович Ленков (1955) закінчив Одеський політехнічний інститут у 1977 році. Доктор технічних наук, професор, директор Інституту проблем критичних технологій та надійності радіоелектроніки. Спеціалізується в галузі надійності та новітніх технологій у радіоелектроніці. Автор 23 наукових статей і однієї монографії.

Sergiy V. Lenkov (b. 1955) graduated from Odessa Polytechnical Institute (1977). DSc (Eng), professor. Director of Institute of Problems of Critical Technology and Radioelectronics reliability. Specializes in the field of reliability and the newest technologies in radioelectronics. Author of 31 publications and of one monograph.

Олександр Миколайович Перегудов (1952) закінчив Київський технологічний інститут легкої промисловості в 1974 році. Директор АТ "Завод "Маяк". Спеціалізується в галузі надійності та новітніх технологій у радіоелектроніці. Автор 7 наукових статей.

Olexandr M. Peregudov (b. 1952) graduated from Kyiv Technology Institute of Light Industry (1974). Director of Joint-Stock Society "Mayak" Plant". Specializes in the field of reliability and the newest technologies in radioelectronics. Author of 7 publications.