

ОБУЧАЮЩИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

© 2011 И. Ю. Шумских, С. В. Тюлевин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Приведена методика обучающего эксперимента при прогнозировании надежности и качества межсоединений электронных узлов на основе новых перспективных паяльных паст. Рассмотрены вопросы контроля информативных и прогнозируемых параметров. Получены экспериментальные данные по уровням этих параметров.

Обучающий эксперимент, прогнозирование, качество и надежность, паяные соединения, паяльные пасты, электронные узлы, испытания.

Введение

Качество и надежность радиоэлектронной аппаратуры зависит от многих факторов, в том числе от качества паяных соединений. Особую остроту вызывает этот вопрос при поверхностном монтаже BGA, NB-BGA, MC-BGA и чип-компонентов с малыми размерами [1]. Следовательно, для достижения высококачественного производства с высоким уровнем выхода годных изделий необходимым условием является повышение надежности паяных соединений выводов компонентов с контактными площадками печатных плат. При этом целесообразно прогнозировать изменение свойств и параметров паяных соединений после монтажа, а также возможность использования аппаратуры по окончании указанного или назначенного срока службы. Для космической аппаратуры наибольшую эффективность дает индивидуальное прогнозирование [2,3]. Наиболее ответственным этапом прогнозирования является обучающий эксперимент [4]. Он определяет точность прогнозной модели и достоверность последующего рабочего прогнозирования.

Обучающий эксперимент – это испытание в заданном режиме определенного количества изделий в течение требуемого времени, обычно равного времени последующего прогнозирования $t_{пр}$, и определение фактического состояния каждого экземпляра выборки к моменту окончания испытания. Цель

обучающего эксперимента состоит в получении необходимого массива исходных данных, т.е. такого массива, который требуется для последующего обучения [5]. Методические основы обучающего эксперимента для электрорадиоизделий и электронных узлов космических радиоэлектронных средств (РЭС) разработаны слабо. Экспериментатор ориентируется, в основном, на свой опыт и интуицию. В работе [6] предпринята попытка решения этого вопроса. Предложена общая методика обучающего эксперимента, которая включает семь этапов: анализ конструктивно-технологических особенностей электрорадиоизделий (ЭРИ) и РЭС; разработка или уточнение схем включения для контроля их работоспособности и измерения основных параметров; выбор методов и средств контроля информативных параметров; определение объема выборки; разработка программы исследовательских испытаний; проведение исследовательских испытаний и экспериментов; анализ результатов испытаний и экспериментов. При этом наиболее ответственными являются 5 и 6-ой этапы: «разработка программы исследовательских испытаний» и «проведение исследовательских испытаний и экспериментов». Эти этапы подробно разработаны для микросхем серии 286. Для других типов ЭРИ они разработаны очень слабо, а для печатных узлов и паяных соединений не рассматривались.

Целью данной работы является разработка и апробация методики обучающего эксперимента паяных соединений поверхностно монтируемых узлов космической аппаратуры.

Анализ параметров паяльных паст

подавляющее количество дефектов возникает на этапе нанесения паяльной пасты. Это значит, что характеристикам используемой паяльной пасты и самому процессу нанесения паяльной пасты необходимо уделять большое внимание [7].

Экспериментальные исследования показали, что перспективными являются паяльные пасты Cobalt XF3+ и Indium NC-SMQ92J. Они и были выбраны для обучающего эксперимента.

В качестве информативных параметров были выбраны вязкость, клейкость и кислотное число. Это предварительный выбор. Правильность этого выбора может подтвердить только обучающий эксперимент. В качестве прогнозируемого параметра было выбрано поверхностное сопротивление изоляции полученного паяного соединения.

Обучающий эксперимент

Для проведения обучающего эксперимента необходимо выбрать методы и средства контроля информативных параметров. В связи с тем, что исследуемые пасты поставляются из стран Западной Европы, выберем для контроля методики, приведенные в стандартах IPC-9201, J-STD-008 и Bellcore GR-78-CORE [8].

Контроль вязкости было предложено проводить при температуре $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Клейкость пасты – это ее способность удерживать компонент на печатной плате. При этом сила крепления компонентов должна оставаться постоянной в течение некоторого времени. Таким образом, клейкость определяет способность пасты удерживать SMD-компоненты на своих местах после установки их на печатную плату и до пайки. Это свойство является индикатором того, подошло ли к концу время жизни пасты.

Тест клейкости предложено проводить по методу 2.4.44 стандартов IPC-TM-650,

IPC/EIA J-STD-005. Он предусматривает применение стандартного тестера, измеряющего силу, необходимую для сдвига компонента определенного веса с площадки пасты определенного размера (6,3 мм и высоты 0,25 мм). Тестовый пробник двигается со скоростью $2,5 \pm 0,5$ мм/мин и приводится в соприкосновение с компонентами. При этом в течение 5 секунд к компоненту прикладывается сила 300 ± 30 г. Далее проводится сдвиг компонента с площадки с указанной скоростью и измеряется потребная для этого сила. Производится несколько измерений через определенные промежутки времени после нанесения пасты. Данные представляются в виде графика зависимости усилия сдвига от времени. По графику определяется время, обозначенное как время удержания («tick life» либо «tack time»), по истечении которого сила сдвига уменьшается на 20%. Пиковая сила определяет собой удерживающую способность в граммах и обозначается в характеристиках пасты как «tackiness» либо «tack force» (типичное значение: 30...50 г). Обычно это значение относится к начальной клейкости, измеренной непосредственно после нанесения пасты («initial tackiness»).

Понятие поверхностного сопротивления изоляции определено в стандарте IPC 9201 как «электрическое сопротивление между двумя проводниками, разделенными какими-либо диэлектрическими материалами». Оно базируется на концепции поверхностного сопротивления слоя, но также содержит элементы объемной проводимости, токов утечки через электролитические загрязнители, многослойные диэлектрические материалы, материалы металлизаций и воздух.

Поверхностное сопротивление изоляции рекомендуется определять с помощью SIR-тестов. Такие тесты являются главным способом определения влияния флюсов на коррозионную стойкость печатных узлов. Как уже указывалось, наиболее часто используемые методы тестирования описаны в стандартах J-STD-008 и Bellcore GR-78-CORE. Условия проведения тестов традиционно включают повышенную температуру, влажность, напряжение смещения и использование специальных тестовых плат с гре-

бенчатой структурой проводников. Критерием успешного прохождения теста является достаточно высокое поверхностное сопротивление изоляции и незначительные признаки коррозии или образования дендритов.

Результаты контроля

Результаты контроля информативных параметров и прогнозируемого параметра для двух типов паяльных паст приведены в табл. 1 и 2. Затем проводятся исследовательские испытания паяных соединений. Условия их проведения приведены в табл. 3. Режимы испытаний выбраны с учетом обеспечения максимальной деградации паяных соединений.

По результатам испытаний выявляются уровень деградации, виды отказов, их механизмы; определяются факторы, ускоряющие деградацию. По их результатам мы окончательно выбираем информативные параметры, которые будут использованы для построения прогнозной модели. Кроме того, они дают информацию о запасах устойчивости паяных соединений, резервах их качества, недостатках методики испытаний.

Анализ результатов испытаний и проведенных экспериментов будет приведен в следующей работе авторов.

Таблица 1. Параметры пасты Cobar XF3+

№ п/п	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
1	1,5	202	112	124
2	0,7	158	96	117
3	1,2	199	110	124
4	1,1	184	106	126
5	0,7	241	91	113
6	2,6	210	112	123
7	0,5	224	114	102
8	2,1	205	112	123
9	1,7	200	111	124
10	1,3	195	109	124
11	1,1	183	106	125
12	1,1	161	100	128
13	0,9	190	106	120
14	2,1	213	112	123
15	1,2	191	107	126
16	1,1	238	100	126
17	2,3	210	112	123
18	2,5	212	113	123
19	0,9	185	106	119
20	2,8	225	114	122
21	2,4	208	112	123
22	0,5	231	116	115
23	2,2	205	111	124
24	1,9	196	110	124
25	2,2	210	112	123

Таблица 1. Окончание

№ п/п	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
26	0,5	238	117	111
27	1,2	198	111	124
28	2,3	213	112	123
29	1,5	196	109	124
30	0,5	245	90	110
31	0,7	239	95	115
32	1,2	181	105	126
33	0,3	242	92	109
34	1,5	201	112	124
35	1,5	200	112	124
36	0,8	231	104	119
37	1,2	195	109	125
38	2,2	210	112	123
39	0,9	227	105	120
40	2,1	211	112	123
41	0,8	229	104	117
42	0,7	233	102	115
43	1,3	195	108	124
44	2	204	111	123
45	0,5	230	104	113
46	2,2	220	114	122
47	2	215	112	123
48	0,9	229	114	119
49	1,5	199	110	124
50	1	192	105	120

Таблица 2. Параметры пасты Indium NC-SMQ92J

Класс годности	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
1	1,5	202	112	124
2	0,7	158	96	117
3	1,2	199	110	124
4	1,1	184	106	126
5	0,7	241	91	113
6	2,6	210	112	123
7	0,5	224	114	102
8	2,1	205	112	123
9	1,7	200	111	124

Таблица 2. Окончание

Класс годности	Поверхностное сопротивление изоляции, 10^9 Ом	Вязкость, Па·с	Клейкость, г	Кислотное число, мг КОН
10	1,3	195	109	124
11	1,1	183	106	125
12	3,2	190	36	113
13	2,5	194	37	112
14	0,8	204	42	107
15	3,2	187	36	113
16	2,6	179	35	113
17	0,5	211	45	100
18	3,0	169	35	113
19	3,2	185	36	113
20	3,6	192	37	112
21	0,8	207	43	107
22	3,1	184	36	113
23	0,8	201	41	108
24	3,5	193	37	113
25	2,8	168	35	113
26	3,5	187	36	112
27	0,9	200	40	109
28	2,9	192	37	112
29	0,5	212	46	101
30	0,7	205	44	106

Таблица 3. Состав и режимы операций при входном контроле паяльных паст

№ п/п	Наименование операции	Оснастка, оборудование, материалы	Режимы
1	Подготовка паяльной пасты, измерение вязкости	1. Устройство SPS-1. 2. Спиральный вискозиметр РМ-2А. 3. Паяльная паста.	Сушка: $t^0=(25\pm 5)^0\text{C}$, $\tau=30$ мин; $V_1=30$ об/мин; $V_2=10$ об/мин.
2	Контроль усадки	1. Устройство DEK248V. 2. Трафареты IPC-A-20-2 шт. 3. ПП IPC-A-20-2 шт. 4. Термокамера VCL7010. 5. 9346-0020 емкость под спирт. 6. Безворсовые салфетки – 2 шт. 7. Антистатическая тара СО-41 с крышкой СО-41 Lid – 1 шт. 8. Микроскоп Mantis Elite. 9. Х/б перчатки (или антист. перчатки) – 1 пара. 10. Неметаллический шпатель.	1) $t^0=(25\pm 5)^0\text{C}$, $\tau=20$ мин, влажность $(50\pm 10)\%$; 2) $t^0=(115\pm 5)^0\text{C}$, $\tau=15$ мин; 3) $t^0=(25\pm 5)^0\text{C}$, $\tau=15$ мин.

Таблица 3. Окончание

№ п/п	Наименование операции	Оснастка, оборудование, материалы	Режимы
3	Испытание на образование шариков припоя	1. Подложка из корундового стекла 1ПК1 Ц7.817.000-22 – 4 шт. 2. Рейсфедер – 1 шт. 3. 9346-0020 ёмкость под спирт. 4. Безворсовые салфетки – 2 шт. 5. Микроскоп Mantis Elite. 6. Антистатическая тара СО-41 с крышкой СО-41 Lid – 1 шт. 7. Термокамера VCL7010. 8. Печь VP6000. 9. Ванна для лужения НАККО FX-301.	1) $t^0=200(230)^0C$; 2) ETR=100; 3) $t^0=(25\pm 5)^0C$, $\tau=4$ часа ± 15 мин.
4	Испытание на паяемость (смазываемость) паяльной пасты	1. ПП IPC-A-21, IPC-A-20 – по 1 шт. 2. Устройство DEK248V. 3. Печь VP6000. 4. Трафарет IPC-A-21, IPC-A-20. 5. Антистатическая тара СО-41 с крышкой СО-41 Lid – 1 шт. 6. Микроскоп Mantis Elite. 7. Неметаллический шпатель.	1) метод 2.4.45 IPC-TM-650.
5	Испытание на сопротивление поверхностной изоляции	1. Трафарет IPC-B-25A – 1 шт. 2. ПП IPC-B-25A – 1 шт. 3. 9346-0020 ёмкость под спирт. 4. Безворсовые салфетки – 2 шт. 5. Антистатическая тара СО-41 с крышкой СО-41 Lid – 1 шт. 6. Устройство DEK248V. 7. Печь VP6000. 8. Тераомметр E6-13A. 9. Термокамера VCL7010. 10. Неметаллический шпатель.	1) $t^0=(25\pm 5)^0C$, $\tau=1$ сек; 2) $t^0=65^0C$, влажность 60%, $\tau=1$ час; 3) $t^0=65^0C$, влажность 98%, $\tau=5$ часов; 4) $t^0=65^0C$, влажность 98%, $\tau=15$ часов.
6	Испытание на коррозионное воздействие флюсов	1. Трафарет IPC-B-25A – 1 шт. 2. ПП IPC-B-25A – 1 шт. 3. 9346-0020 ёмкость под спирт. 4. Безворсовые салфетки – 2 шт. 5. Устройство DEK248V. 6. Термокамера VCL7010. 7. Тераомметр E6-13A. 8. Неметаллический шпатель.	1) $t^0=(25\pm 5)^0C$, $\tau=20$ мин; 2) $t^0=85^0C$, влажность 85%, U=50 В, $\tau=24$ часа; 3) $t^0=85^0C$, влажность 85%, U=50 В, $\tau=96$ часов; 4) $t^0=85^0C$, влажность 85%, U=50 В, $\tau=168$ часов.
7	Определение кислотного числа	1. Титрометрический набор. 2. Гидроксид калия. 3. Деионизированная вода. 4. Фенолфталеин.	1) стандарт IPC.

Библиографический список

1. Медведев, А. М. Технологическое обеспечение надежности межсоединений [Текст] / А. М. Медведев // Технологии в электронной промышленности. – 2005. - № 5. – С. 60-62.
2. Пиганов, М. Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств [Текст] / М. Н. Пиганов, С. В. Тюлевин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2009. - №1 (72). – С. 174-180.
3. Пиганов, М. Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов микросборок [Текст] / М. Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. – 160 с.
4. Пиганов, М. Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок [Текст] / М. Н. Пиганов. – М.: Новые технологии, 2002. – 267 с.
5. Тюлевин, С. В. Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры [Текст] / С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2008. - № 1. – С. 92-96.
6. Тюлевин, С. В. Методика обучающего эксперимента при индивидуальном прогнозировании показателей качества космических РЭС [Текст] / С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: матер. Всеросс. НТК. – Самара: Изд-во СГАУ, 2008. – С. 239-253.
7. Вестерлакен, Э. Характеристики паяльных паст: что нужно знать? [Текст] / Э. Вестерлакен // SMT эксперт. – 2010. - № 5. – С. 22-33.
8. Шумских, И. Ю. Исследование параметров паяльных паст с целью прогнозирования надежности паяных соединений [Текст] / И. Ю. Шумских // Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2011: сборн. научн. тр. – Украина, Одесса: Черноморье. – 2011. – Т.6. – С. 58-64.

TRAINING EXPERIMENT AT FORECASTING OF QUALITY AND RELIABILITY OF SOLDERED JOINTS OF ELECTRONIC ASSEMBLAGES

© 2011 I. Y. Shumskikh¹, S. V. Tyulevin²

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

²Samara Space Center

The technique of training experiment is resulted at forecasting of reliability and quality of joints of electronic assemblages on the basis of new perspective soldering pastes. Questions of control of informative and predicted parameters are considered. Experimental data on levels of these parameters are received.

Training experiment, forecasting, quality and reliability, soldered joints, soldering pastes, electronic assemblages, tests.

Информация об авторах

Шумских Илья Юрьевич, аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: il815@yandex.ru. Область научных интересов: качество паяных соединений электронных узлов.

Тюлевин Сергей Викторович, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, кандидат технических наук, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: надёжность и качество космических радиоэлектронных средств.

Shumskikh Ilya Yuryevich, post-graduate student of the department of construction and design radio electronic devices, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: il815@yandex.ru. Area of research: reliability and quality of radio electronic devices.

Tyulevin Sergei Viktorovich, assistant professor of design and production of radio-electronic means department, Ph.D., Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: kipres@ssau.ru. Research interests: quality and reliability of space-based radio-electronic means.