

Испытания надежности печатных плат

при помощи термоциклирования и термоудара

Корпорация ESPEC (Япония) — признанный лидер в производстве климатического испытательного оборудования — вот уже на протяжении 60 лет занимается не только его разработкой и выпуском, но и активно проводит научные исследования с его применением. Данная статья посвящена тому, как в лабораториях ESPEC для изучения воздействия термических напряжений на межслойные отверстия печатных плат (ПП) проводились испытания при помощи термоциклирования (воздух–воздух) и термоудара (жидкость–жидкость). В результате была показана явная зависимость между растрескиванием припоя и сроком службы металлизированного сквозного отверстия.

Александр Князев

knyazev@estek.ru

Станислав Борисенков

svb@estek.ru

Введение

Современные условия эксплуатации способствуют постоянной миниатюризации электронных приборов и предъявляют к ним жесткие требования по безотказной работе в широком диапазоне климатических условий. Миниатюризация электронных приборов приводит к повышению плотности монтажа ПП и снижению ширины проводников и зазоров. С другой стороны, многообразие условий окружающей среды, в которых это оборудование используется, подвергает ПП многочисленным типам климатических напряжений. Когда термические и механические напряжения воздействуют на зазоры между проводниками, могут возникать отслоения проводящего рисунка, и в результате происходит отказ модуля.

Электронные приборы находят все более широкое применение, и печатные платы эксплуатируются в различных климатических условиях. Кроме того, вследствие продолжающейся миниатюризации электронных компонентов и увеличения плотности поверхностного монтажа уменьшаются ширина дорожки и диаметр межслойных отверстий печатных плат. В этих условиях особое внимание следует уделять поддержанию надежности ПП. В этой статье мы расскажем об испытаниях и анализе разрушения межслойных отверстий ПП под влиянием термоциклирования и теплового удара.

Надежность и метод испытания межслойных металлизированных отверстий

Разрушение металлизированного межслойного отверстия происходит путем растрескивания и расслоения металлизации, вызванных температурными и механическими напряжениями.

При температурном напряжении разница в коэффициентах теплового расширения для различных материалов, таких как медь, стеклотекстолит и при-

пой, приводят к циклическим напряжениям, воздействующим на металлизированную область. В связи с этим были выполнены испытания термоциклированием (воздух–воздух) и тепловым ударом (жидкость–жидкость). Анализ механизма отказов проводился с помощью исследования изменений в характеристических значениях, а также обследования поперечных сечений.

Для испытания термоциклированием использовалась термошоковая камера ESPEC TSD-100 (рис. 1). Эта двухзонная камера объемом 100 л позволяет про-



Рис. 1. Термошоковая камера TSD-100

Таблица 1. Технические характеристики термошоковой камеры TSD-100

| Модель | TSD-100 |
|---|------------|
| Кол-во зон | 2 |
| Диапазон высоких температур, °С | +60...+200 |
| Диапазон низких температур, °С | –65...0 |
| Колебание температуры, °С | ±0,5 |
| Температура предварительного нагрева, °С | +205 |
| Температура предварительного охлаждения, °С | –77 |
| Рабочий объем, л | 100 |



Рис. 2. Термошоковая камера TSB-51

Таблица 2. Технические характеристики термошоковой камеры TSB-51

| Модель | | TSB-51 |
|---|---------------------------|--|
| Система | | Перемещение корзины с образцами между 2 ваннами с жидкостями |
| Раствор | | Одно- или двухкомпонентный раствор дезактивированного фтора |
| Горячая ванна | Диапазон температур, °C | +70...200 |
| | Колебания температуры, °C | ±2 |
| Холодная ванна | Диапазон температур, °C | -65...0 |
| | Колебания температуры, °C | ±2 |
| Время перемещения образцов между ваннами | | Не более 10 с |
| Внутренний объем тестовой области, л | | 4,5 |
| Грузоподъемность корзины для образцов, кг | | 2,0 |

водить испытания в диапазоне температур -65...+200 °C. Камера состоит из горячей и холодной зон. Образец перемещается между двумя зонами посредством лифта. Основные технические характеристики камеры TSD-100 приведены в таблице 1.

Для испытания тепловым ударом использовалась камера ESPEC TSB-51 (рис. 2). Она позволяет реализовать тепловой удар в жидкой среде в диапазоне температур -65...+200 °C. Камера состоит из двух ванн, наполненных жидкостью — горячей и холодной. Образец перемещается из одной ванны в другую при помощи корзины. Основные технические характеристики камеры TSB-51 приведены в таблице 2.

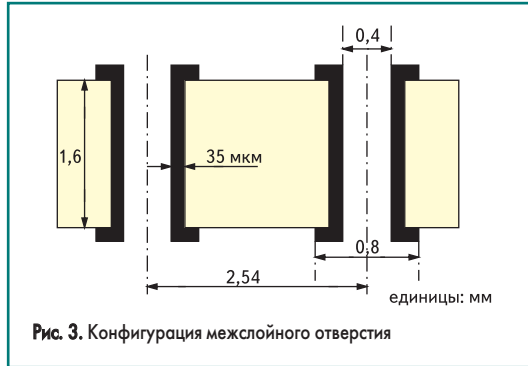


Рис. 3. Конфигурация межслойного отверстия



Рис. 4. Топология печатной платы

Таблица 3. Условия испытания

| Назначение испытания | Пункты испытания | Предварительная обработка | Условия испытания |
|---|--|---------------------------|--|
| Выявление зависимости от наличия припоя | Испытание термоциклированием (воздух-воздух) | + | -65 ↔ +125 °C, 30 мин каждый, 1000 циклов |
| | | - | -65 ↔ +125 °C, 30 мин каждый, 1000 циклов |
| Выявление зависимости от температуры (с припоем) | Испытание термоциклированием (воздух-воздух) | + | -40 ↔ +125 °C, 30 мин каждый, 1000 циклов |
| | | | -65 ↔ +125 °C, 30 мин каждый, 1000 циклов |
| | | | -65 ↔ +150 °C, 30 мин каждый, 1000 циклов |
| Выявление зависимости от скорости изменения температуры (с припоем) | Испытание термоциклированием (воздух-воздух) | + | -65 ↔ +125 °C, 30 мин каждый, 1000 циклов |
| | | | Испытание на тепловой удар (жидкость-жидкость) |

* Предварительная: испытание припоя на термостойкость, 260 °C, 10 с, припой — 63% олова

Образцом для испытаний служила печатная плата из стеклотекстолита (FR-4) с непрерывно соединенными металлизированными межслойными отверстиями без контактных площадок, показанная на рис. 3. В таблице 3 приведены условия испытаний. При испытании исследовались изменения в характеристических значениях и режимы отказов в зависимости от наличия или отсутствия припоя в межслойном отверстии, а также в зависимости от температуры испытания и скорости изменения температуры. Изменения сопротивления проводника печатной платы измерялись при помощи омметра. Кроме того, для исследования поперечного сечения межслойные отверстия заполнялись смолой, затем их разрезали поперек и наблюдали с помощью металлогического микроскопа.

Результаты испытания

Зависимость от наличия припоя

На рис. 5 показаны изменения сопротивления проводника межслойного отверстия. Отказ в обоих случаях выявлялся при обследовании поперечного сечения, в результате которого об-

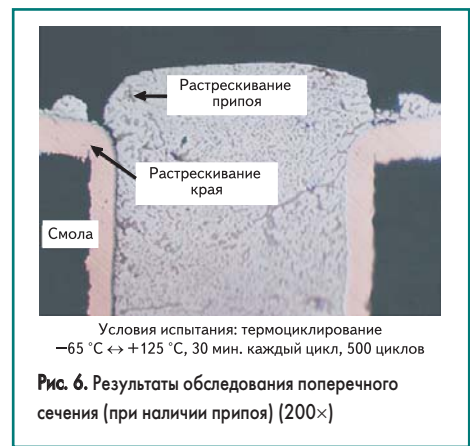


Рис. 6. Результаты обследования поперечного сечения (при наличии припоя) (200×)

наруживалось растрескивание краев металлизированной области. Кроме того, разрушение происходило более интенсивно при наличии припоя, таким образом, можно сделать вывод, что припой сильно влияет на развитие трещин (рис. 6).

Зависимость от температуры

На рис. 7 показаны изменения сопротивления для каждого температурного режима,

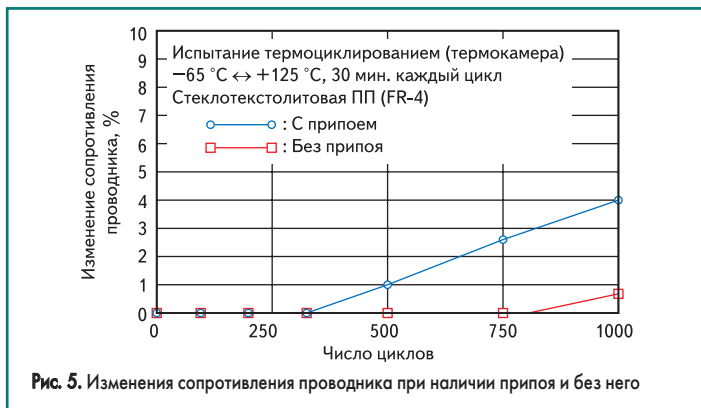


Рис. 5. Изменения сопротивления проводника при наличии припоя и без него

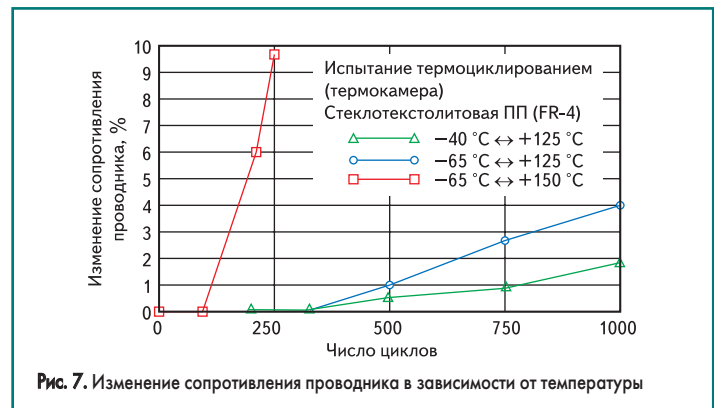


Рис. 7. Изменение сопротивления проводника в зависимости от температуры

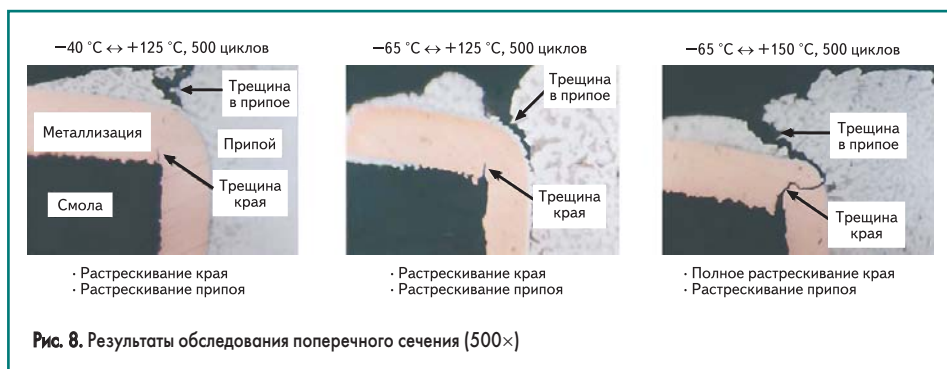


Рис. 8. Результаты обследования поперечного сечения (500×)

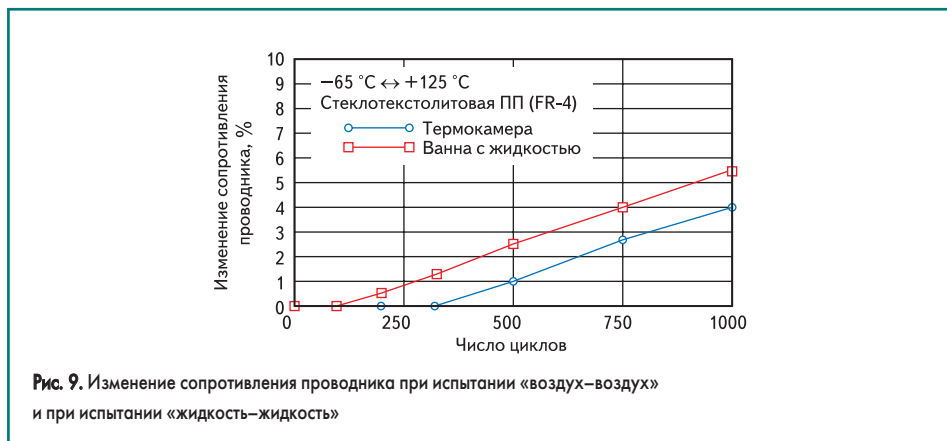


Рис. 9. Изменение сопротивления проводника при испытании «воздух–воздух» и при испытании «жидкость–жидкость»

а на рис. 8 результаты обследования поперечного сечения после 500 циклов испытаний при каждом режиме. Результаты показывают, что отказ при каждом из режимов наступает в результате растрескивания краев металлизированной области, и что чем больше разность температур, тем быстрее происходит разрушение.

Зависимость от скорости изменения температуры

Для выявления зависимости от скорости изменения температуры были проведены испытания термоциклированием (воздух–воздух) и тепловым ударом (жидкость–жидкость). На рис. 9 показаны изменения сопротивления проводника. В результате обследования поперечных сечений было выявлено, что для обоих методов исследования отказ наступает в результате растрескивания краев, но деформация металлизированной области возникает при испытании тепловым ударом, который приводит к возникновению сильных напряжений (рис. 10).



Рис. 10. Результаты обследования поперечного сечения (100×)
Условия испытания: тепловой удар
-65 °C ↔ +125 °C, 5 мин. каждый цикл, 1000 циклов

Обсуждение результатов

В этой серии испытаний обследование поперечного сечения наглядно показывает растрескивание, возникающее в припое в результате растрескивания краев металлизированных межслойных отверстий, которые полностью разрушаются в поперечном направлении. Кроме того, в образцах, в которых фаска припоя выше (переходный угол при заполнении припоем), не происходит растрескивания не только припоя, но и краев вдоль всего отверстия. Из этих результатов можно сделать вывод, что существует прямая зависимость между наличием при-

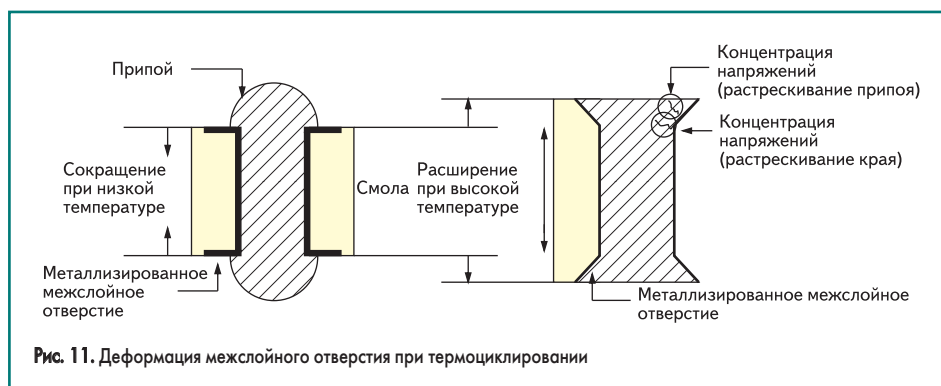


Рис. 11. Деформация межслойного отверстия при термоциклировании



Рис. 12. Процесс растрескивания краев (500×)

поя и сроком службы межслойного металлизированного отверстия, и что путем предотвращения растрескивания припоя можно повысить надежность межслойного отверстия.

В таблице 4 представлены коэффициенты теплового расширения для каждого материала. Разница в коэффициентах теплового расширения материалов вызывает напряжения при термоциклировании, которые концентрируются в припое и в области краев, как показано на рис. 11. Когда сильные напряжения повторно прикладываются к этой области, возникает растрескивание. Кроме того, в начальный период растрескивание в металлизированной области возникает раньше, чем в припое.

Исходя из этих данных можно рассчитать теоретическую пластичность меди, необходимую для обеспечения надежности соединения. Пластичность при толщине платы 3 мм должна быть не менее 3%, что, как правило, обеспечивается гальваническими процессами осаждения медных осадков. Модель разрушения медного слоя определяется цикличностью воздействия температур.

Однако из-за высокой температуры и напряжения припой подвергается и так называемому выкрашиванию межзерновой границы, возникают сдвигающие и растягивающие усилия, в результате чего происходит разрыв. Затем напряжения, сконцентрированные на

Таблица 4. Коэффициент теплового расширения для каждого материала

| Материал | Коэффициент теплового расширения (мкм/м·°C) |
|--------------------------|---|
| Медь | 17 |
| Припой | 24–25 |
| Стеклотекстолит (оси XY) | 13–18 |
| Стеклотекстолит (ось Z) | 110–250 |

краях, вызывают растрескивание и полное разрушение. На рис. 12 показан этот процесс.

Выводы

В результате исследования были сделаны следующие выводы:

1. Отказ металлизированных отверстий происходит главным образом из-за растрескивания краев. Это можно подтвердить испытаниями — термоциклированием (воздух–воздух) и тепловым ударом (жидкость–жидкость).
2. Растрескивание краев в высокой степени зависит от растрескивания припоя и, таким образом, надежность межслойных отверстий можно повысить, предотвратив растрескивание.
3. Экспериментально подтверждено, что чем больше разница температур испытания и чем выше скорость изменения температуры, тем быстрее разрушается межслойное отверстие.

В данном исследовании при обследовании поперечного сечения межслойного отверстия было выявлено, что разрушение межслойного отверстия связано с растрескиванием припоя, однако пока не были проанализированы статистические данные для выявления строгих зависимостей.

Кроме того, исследования в данном направлении необходимо продолжить для определения того, как разрушение межслойного отверстия и растрескивание припоя соотносится с изменением сопротивления проводника.

Литература

1. Tanaka H., Aoki Y., Yamamoto S. Confirming Reliability of Printed Circuit Boards with Temperature Cycle and Thermal Shock. ESPEC Technology Report № 3.