

**МЕТОД ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОМПОНЕНТОВ
ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ¹**

А.В. Азин, А.А. Жуков, С.А. Пономарев

Научный руководитель: старший научный сотрудник, д.ф.-м.н. С.В. Пономарев

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: azinanton@niipmm.tsu.ru

**METHOD FOR EVALUATING DURABILITY OF COMPONENTS CONTACT CONNECTIONS
OF ELECTRONIC BOARDS FOR ARBITRARY LOAD**

A.V. Azin, A.A. Zhukov, S.A. Ponomarev

Scientific Supervisor: Senior Research Officer, Dr. S.V. Ponomarev

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: azinanton@niipmm.tsu.ru

***Abstract.** This paper describes a method for assessing the durability of contact joints BGA and PGA components of electronic circuit boards with an arbitrary load. The method on the experimental data and the results of numerical simulation of contact connections at working loads is based. The implementation of this method is shown in the example of the electronic board evaluation period of the service under cyclic thermal loads. Application of this method of electronic circuit board manufacturers will predict the service life of the developed products.*

Разработанный метод оценки долговечности контактных соединений при произвольной нагрузке, включает:

1. Определение механических характеристик материала припоя, используемого для присоединения корпуса микрочипа к ЭП.
2. Проведение циклических испытаний материала припоя.
3. Проведение численного моделирования контактных соединений исследуемого корпуса микрочипа для определения максимума интенсивности напряжений в материале припоя при заданных нагрузках (моделям задаются характеристики материалов полученные в п.1).
4. Определение сдвиговых деформаций при заданном диапазоне рабочих температур.
5. Расчет по результатам п.2 максимального количества циклов до разрушения контактного соединения.

Для определения механических характеристик припоя проведены испытания на одноосное растяжение и циклические испытания образцов из припоя ПОС-61 [1]. По результатам испытаний на одноосное растяжение определена билинейная зависимость напряжений от деформации для материала припоя, сплошная линия – экспериментальные данные, пунктир – билинейная аппроксимация (рис. 1а). Для определения параметров модели длительной прочности использовались соотношение Коффина-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16–38–00743 мол_a

Менсона: $N^m \Delta \varepsilon = C_N$, где N – количество циклов при данной деформации; $\Delta \varepsilon$ – размах деформации; C_N , m – параметры модели (для данного материала $C_N = 0,1892$, $m = 0,53$). Согласование результатов теоретических расчетов (пунктир) и экспериментальных данных (сплошная линия) представлено на рис. 1б.

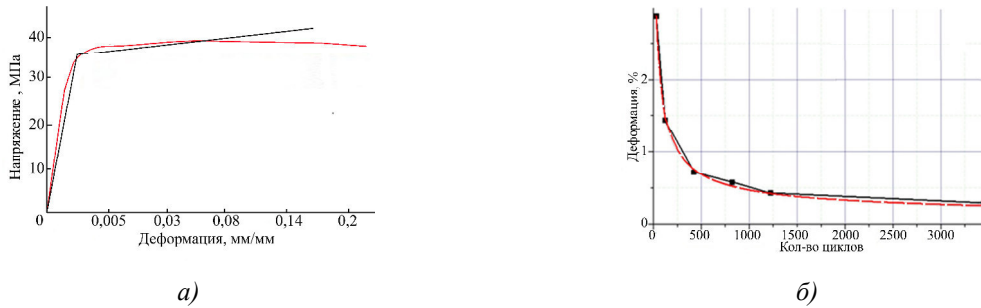


Рис. 1. Результаты испытаний: а) зависимость напряжений возникающих в образце при соответствующем уровне деформаций, б) зависимость уровня деформаций от количества циклов до разрушения

Для определения напряженно-деформированного состояния контактных паяных соединений корпуса микрочипа с ЭП разработаны расчетные модели соединений, которые включают часть микросхемы, контактные площадки печатной платы, саму плату и элемент BGA или PGA (Рис. 2).

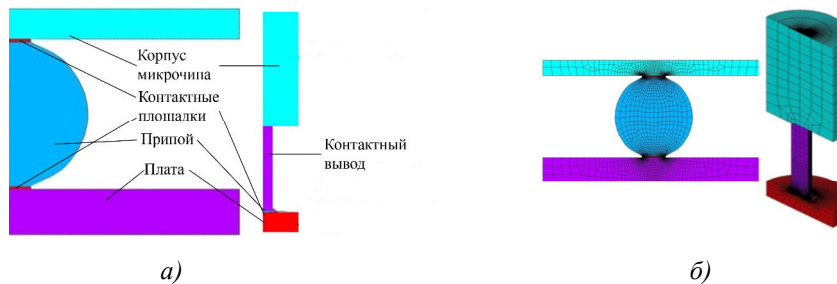


Рис. 2. Расчетные (а) и конечноэлементные (б) модели контактных соединений

Результаты моделирования НДС контактных соединений корпусов микрочипов (BGA и PGA) и результатам других исследователей (данные о корпусах типа MCS взяты из отчета NASA [2]) представлены на рис. 3, где приняты обозначения: BGA* – BGA при обтекании припоя контактной площадки, BGA – BGA без обтекания.

Для оценки несущей способности контактных соединений, определяется сдвиг τ корпуса микрочипа относительно ЭП при температурном цикле от -30°C до $+70^\circ\text{C}$ по выражению (2) [3]:

$$\tau = L(\alpha_b - \alpha_c)(T_{\max} - T_0) + L(\alpha_b - \alpha_c)(T_0 - T_{\min}), \quad (2)$$

где L – расстояние от контакта до геометрического центра корпуса микрочипа, α_b и α_c – коэффициенты теплового расширения печатной платы и корпуса микрочипа соответственно, T_0 , T_{\min} и T_{\max} – температура при нормальных условиях, минимальное и максимальное значение температуры в цикле соответственно.

Сдвиговая деформация вычисляется по соотношению (его вид определялся из испытаний на одноосное растяжение образцов из материала припоя):

$$\varepsilon(\sigma, t) = \left(\frac{\sigma}{E}\right) + A_1 \left(\frac{\sigma}{E}\right)^{B_1}, \quad (3)$$

где $A_1 = 1,17 \cdot 10^{57}$, $B_1 = 22,26$, $E = 16,082 \cdot 10^9$ Па.

Для определения состояния материала в текущий момент и прогнозирования оставшегося срока эксплуатации введем функцию поврежденности материала (4)[4]:

$$\omega(t) = \left[\frac{\nu}{C_1(a-bT)} \right]^m \Delta \varepsilon^{\frac{1}{m}}, \quad (4)$$

где ω изменяется от 0 до 1 (1 – разрушение материала), параметр $m_1 = -1 + 1/m$; ε – интенсивность деформации; t_0 – долговечность для данного материала, определяемая из экспериментов при температуре T и не зависящая от времени деформации, $\Delta \varepsilon$ – размах деформаций, не зависящий от времени; ν – частота нагружения (для расчетов принято $\nu = 1,39 \cdot 10^{-3}$ циклов/с – протяженность температурного цикла по времени равна 1 цикл в 2 часа), C_1 и m – параметры модели, определенные для данного материала, где $C_N(T) = C_1 \cdot E(T)$ и $E(T) = a - bT$ ($C_1 = 3,3012$, $m = 0,53$ при температуре 25 °С); a и b – параметры модели, отображающие зависимость модуля упругости материала от температуры ($a = 6,4411$, $b = 0,0284$).

По результатам решения построена зависимость степени повреждаемости паяного соединения от времени работы при данной скорости нагружения для каждого типа контактов (рис. 4).

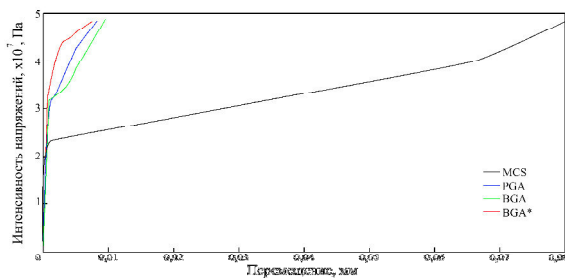


Рис. 3. Зависимость максимума интенсивности напряжений в паяном соединении от горизонтального перемещения чипа относительно платы

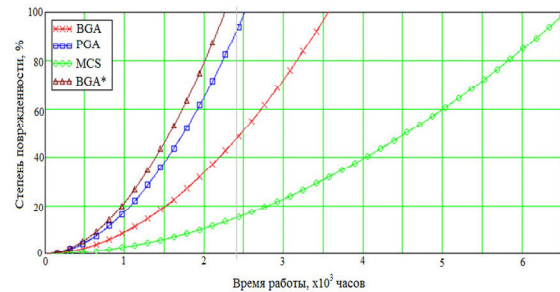


Рис. 4. Функция поврежденности разных типов контактов в зависимости от времени работы

На графике показано, что при данной скорости нагружения корпус чипа на PGA контактах отработает 2500 часов, на BGA контактах (без натекания припоя на контактную площадку) – 3600 часов, на BGA контактах (с натеканием припоя на контактную площадку) – 2250 часов, на MCS контактах – 6500 часов. По результатам теоретического расчета долговечности контактных соединений корпуса микрочипа с ЭП при термоциклировании самым надежным является корпус на MCS контактах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азин А.В., Марицкий Н.Н., Жуков А.П., Пономарев С.В., Пономарев В.С., Сунцов С.Б. Экспериментально-теоретическое исследование напряженно-деформируемого состояния и оценка долговечности BGA и CGA контактов электронных модулей// Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т.54. – № 10/2. – С. 146–153.
2. Strickland S. M., J.D. Hester, Gowan A.K. et al. Microcoil spring interconnects for ceramic grid array integrated circuits. // Report of NASA TM-2011 – Marshall Space Flight Center, Alabama. – 2011. – 27 p.
3. Tummala R. R. Fundamentals of Microsystems Packaging. – The McGraw-Hill Companies, 2001. – 926 p.
4. Москвитин В. В. Сопротивление вязко - упругих материалов. – М.: Наука, 1972. – 328 с.