

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ
ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**А. В. Азин¹, Н. Н. Марицкий¹, С. А. Пономарев¹, С. В. Пономарев¹, С. Б. Сунцов²¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
Российская Федерация, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36. E-mail: antonazin@niipmm.tsu.ru²ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: sbsun@iss-reshetnev.ru

Современное высокоточное радиоэлектронное оборудование, которое входит в состав космической техники, дорогостоящее в изготовлении за счет импортной компонентной базы и малосерийности производства. Рассматриваются существующие методы контроля качества выпускаемой радиоэлектронной аппаратуры, работоспособность которой обеспечивает надежность и долговечность активного существования космических аппаратов. Показана эффективность применения метода акустической эмиссии, позволяющего отслеживать появление дефектов в паяных соединениях печатных плат радиоэлектронной аппаратуры в реальном времени.

Актуальность работы состоит в необходимости дальнейшей разработки неразрушающего метода выявления дефектов и мест их локализации, а также классификации их по степени опасности для работоспособности модулей печатных плат радиоэлектронной аппаратуры.

В ходе работы разработан способ уточнения определения местоположения дефекта с применением метода акустической эмиссии при плоскостной локации. Точность способа позволяет локализовать дефект с погрешностью 1 мм. На стандартном корпусе чипа с шагом 1 мм вероятность определения дефектного контакта составляет от 95 %.

На основании проведенных экспериментов построена модель накопления повреждений паяных контактных соединений корпуса чипа печатной платы радиоэлектронной аппаратуры, которая адекватно отражает свойства исследуемого объекта. Полученная модель накопления повреждений отображает поведение данного объекта не менее чем 80 % от планируемого срока эксплуатации.

По результатам проведенных экспериментальных работ получены диаграммы накопления акустических сигналов от развивающихся дефектов в процессе деформирования паяного соединения, определена точность метода, определены параметры модели накопления повреждений паяного соединения и моменты зарождения дефектов в процессе механического воздействия, что демонстрирует перспективность применения метода акустической эмиссии для дефектоскопии печатных плат радиоэлектронной аппаратуры.

Обосновывается совместное использование рентгеновской томографии и метода акустико-эмиссионного контроля, что позволит на этапах предварительной отработки и производства печатных плат с высокой точностью прогнозировать срок их надежной эксплуатации.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, рентгеновский метод, дефектоскопия, паяные соединения, надежность, радиоэлектронная аппаратура.

APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION TESTING FOR SOLDER ATTACHMENT ELECTRONICSA. V. Azin¹, N. N. Marickiy¹, S. A. Ponomarev¹, S. V. Ponomarev¹, S. B. Suncov²¹Tomsk State University
36, Lenina Av., Tomsk, 634050, Russian Federation
E-mail: antonazin@mail.ru²JSC "Information satellite systems" named after academician M. F. Reshetnev"
52, Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation
E-mail: sbsun@iss-reshetnev.ru

Modern high-precision electronic equipment, which is a part of space technology, is expensive to manufacture due to the import component base and small series production. The paper examines existing methods of monitoring the

quality of the electronics, which provides the performance and durability of the active presence of a spacecraft. The effectiveness of the method of acoustic emission for tracking the appearance of defects in solder joints of printed circuit boards of the electronics in real time.

Relevance of the work is necessary for further development of the non-destructive method of detecting defects and sites of their localization, and their classification according to the degree of danger to the operation of the module of the electronics.

In operation, a method of specification the defect locating using the method of acoustic emission has been developed. The accuracy of the method to localize the defect consists of 1 mm. On the standard case of the microchip in 1 mm increments probability defective contact is 95 %.

On the basis of these experiments, a model of damage accumulation of the object (solder terminal connections of the chip housing of printed circuit boards of the electronics), which adequately reflects its properties has been constructed. The resulting behavior of a model of damage accumulation displays this object is not less than 80 % of the planned service life.

The results of experimental studies of the diagram obtained accumulation of acoustic signals from developing defects in the process of deformation of the solder joint, determine the accuracy of the method, the parameters of a model of damage accumulation in the solder joint and the inception of the defects in the process of mechanical action. It demonstrates the promising applications of the method of acoustic emission for inspection of printed circuit boards.

Sharing of X-ray tomography and the method of acoustic emission monitoring, which will be at the stage of preliminary processing and the production of printed circuit boards with high accuracy to predict the duration of their reliable operation is substantiated.

Keywords: acoustic emission, X-ray method, inspection, solder joints, reliability, electronic equipment.

Введение. В радиоэлектронной промышленности широко используются паяные соединения элементов ПП. Для оценки их надежности необходимо знать механические характеристики связующего материала, в число которых также входит долговечность.

При контроле качества выпускаемой электронной продукции широко используются в основном два метода неразрушающего контроля – оптико-электрический и рентгеновский.

Испытательное оборудование, основанное на совместном использовании оптического и электрического методов контроля, включает 3D-системы автоматической оптической инспекции (ISIS компании Mirtec [1], Symbion S36 компании ORPROVision [2]) и системы измерения с летающими пробниками (SPEA 4060 [3]). Эти системы позволяют контролировать и анализировать результаты работы автоматического сборочно-монтажного оборудования и измерять параметры, характеризующие качество паяных соединений. Данные системы не гарантируют выявления латентных дефектов паяных соединений, которые представляют наибольшую опасность для работоспособности ПП в дальнейшем. Рентгеновский метод при использовании современных томографов (Phoenix nanome|x 180 [4], XT V 160 [5]) позволяет «просветить» всю плату и с разрешением менее 0,5 мкм, выявить все несплошности в паяных соединениях и создать подробную 3D-модель исследуемого объекта. На проведение такого анализа требуется значительные временные затраты. Кроме того, нужны дополнительные оценки по опасности выявленных дефектов.

Анализ АЭ, сопровождающей деформацию и разрушение твердых тел, является очень эффективным в этом отношении. Метод АЭ – средство неразрушающего контроля и оценки материалов, основанное на обнаружении упругих волн [6]. Любой дефект производит свой собственный акустический сигнал, регистрация которого возможна на большом расстоянии. К особенностям метода акустического контроля отно-

сятся высокая чувствительность и принципиальная возможность раннего обнаружения дефектов независимо от их ориентации, формы и положения, а также возможность наблюдения в реальном масштабе времени [7].

Метод хорошо зарекомендовал себя при испытаниях образцов из оловянно-свинцового припоя ПОС-61 для локализации дефектов [8–10]. Кроме того, были получены результаты применения акустической эмиссии и при циклических испытаниях.

Применение АЭ для прогнозирования разрушения материала. Для отработки метода АЭ и определения вида функции поврежденности материала проведена серия экспериментов по деформированию образцов припоя ПОС-61 в виде лопаток и проволок и образцов плат с BGA-корпусами с регистрацией акустических сигналов установкой АЭ Micro2 digital AE system [11]. Получены диаграммы накопления акустических сигналов от развивающихся дефектов в процессе деформирования контакта, определена точность метода, параметры модели накопления повреждений и моменты зарождения дефектов в процессе механического воздействия. На основании анализа результатов проведенных экспериментов построен график накопления акустических импульсов (рис. 1), возникающих при развитии дефектов, в зависимости от деформаций образца [12].

Представленные на рис. 1 экспериментальные кривые с погрешностью не более 3 % аппроксимируются соотношением

$$N(x) = A_1 \cdot (\text{th}(A_2(x - x_0)) + 1), \quad x = \varepsilon^{1/2}, \quad (1)$$

где N – количество импульсов акустических сигналов; ε – деформация; A_1 , A_2 , x_0 – параметры модели (для материала припоя параметры $A_1 = 42,5$, $A_2 = 12,5$, $x_0 = 0,26442$); th – функция гиперболического тангенса.

На рис. 1 видно, что накопление повреждений в материале контактного соединения идет в три этапа.

На первом этапе происходит накопление микроповреждений в одной области (достигается точка деструкции D – предел текучести материала), на втором этапе микроповреждения перерастают в микротрещины (основная часть событий АЭ) и достигается максимум нагрузки), на третьем этапе образуется макротрещина и количество событий АЭ остается практически неизменным. Таким образом, использование метода акустической эмиссии дает корректные результаты обнаружения роста дефекта (как конкретного события, так и зависимость количества импульсов от времени) вплоть до момента разрушения образца.

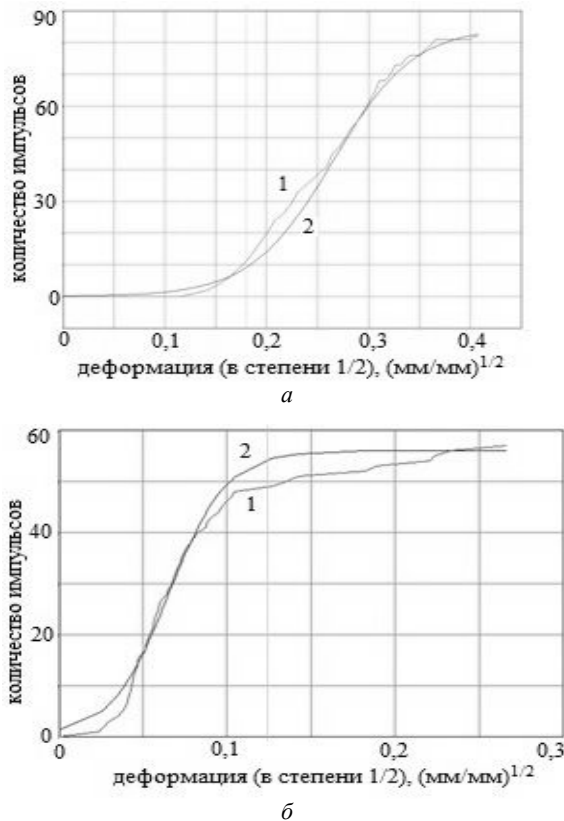


Рис. 1. Накопление АЭ-импульсов в зависимости от деформации $\epsilon^{1/2}$ для образцов припоя в виде лопаток (а) и проволоки (б): 1 – экспериментальные данные, 2 – аппроксимирующие кривые

В рамках работы проведены испытания образцов ПП с корпусами BGA. На рис. 2 приведена диаграмма локации источников АЭ образующихся дефектов в паяных соединениях корпуса BGA с ЭП (размер ЭП $0,085 \times 0,2$ м).

В ходе работы разработан способ уточнения определения местоположения дефекта с применением метода АЭ при плоскостной локации. Точность способа позволяет локализовать дефект с погрешностью 1 мм. На стандартном корпусе микрочипа с шагом 1 мм вероятность определения дефектного контакта составляет от 95 %. К примеру, исследователи компании Mistras и Cisco (разработчики аппаратуры акустической эмиссии) достигли точности локализации дефекта на корпусах BGA с погрешностью 5 мм [13–15].

На основании проведенных экспериментов построена модель накопления повреждений (МНП) исследуемого объекта (паяные контактные соединения корпуса чипа ПП РЭА), которая адекватно отражает свойства с погрешностью, не превышающей 3 %. Полученная МНП обеспечивает точность прогнозирования оставшегося ресурса жизни от планируемого срока эксплуатации с погрешностью не более 9 % и отображает поведение данного объекта не менее чем 80 % от планируемого срока эксплуатации.

Заключение. По результатам проведенного исследования выявлено, что метод акустико-эмиссионного контроля позволяет определять местоположение развивающихся дефектов и степень их опасности для целостности паяного соединения, тем самым ограничивая область исследования и сокращая временные затраты для дальнейшего метода рентгеновской томографии, с помощью которого уточняется локация и геометрия дефекта.

Совместное использование метода рентгеновской томографии и метода акустико-эмиссионного контроля позволит как на этапе предварительной отработки, так при производстве ЭП с высокой вероятностью выявлять производственные дефекты и прогнозировать срок их надежной эксплуатации.

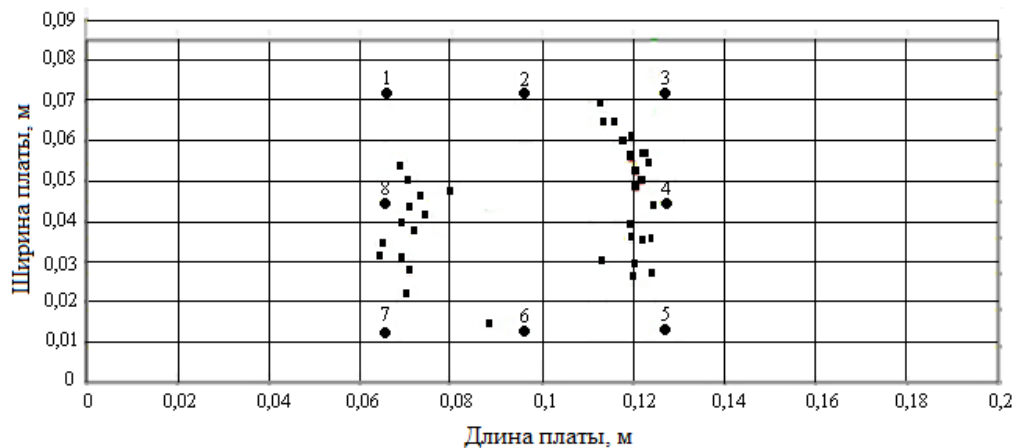


Рис. 2. Диаграмма локации источников АЭ:
● – датчик (преобразователь АЭ); ■ – источники АЭ

Библиографические ссылки

1. 3D-оптическая инспекция – революционные технологии Mirtec [Электронный ресурс] : информационный портал по технологиям производства электроники // Новое оборудование и материалы. Электрон. дан. Элинформ. 2007–2014. URL: http://www.elinform.ru/news_6512.htm (дата обращения: 10.12.2013).
2. Современное состояние развития систем автоматической оптической инспекции : технологии в электронной промышленности [Электронный ресурс] // Электрон. журн. Finestreet. 2011–2014. URL: http://www.tech-e.ru/2011_3_44.php (дата обращения: 10.12.2013).
3. Установка функционального контроля SPEA [Электронный ресурс] // Тестовые системы для производителей радиоэлектронной аппаратуры 4060 / ООО «Предприятие «Остек». 2011. URL: <http://ostec-electro.ru/katalog/radio/s-probnikami/4/> (дата обращения: 10.12.2013).
4. Трехмерное качество [Электронный ресурс] / ООО «Предприятие «Остек». 2014. URL: <http://ostect.ru/knowledge-base/publication/trekhmernoe-kachestvo/> (дата обращения: 10.12.2013).
5. Система XT V 160 Nikon Metrology [Электронный ресурс] // Тестирование и диагностика / ООО «Совтест АТЕ». 1994–2011. URL: <http://www.sovtest.ru/equipment/xt-v-160-nikon-metrology> (дата обращения: 10.12.2013).
6. Андрейкив А. Е., Лысак Н. В. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. Киев : Изд-во Наук. думка, 1989. 172 с.
7. Азин А. В., Марицкий Н. Н., Пономарев С. А., Пономарев С. В. Обзор методов обнаружения механических дефектов радиоэлектронных модулей // Известия вузов. Физика. 2010. № 12/2. С. 3–9.
8. Азин А. В., Марицкий Н. Н., Пономарев С. А., Пономарев С. В. Разработка экспериментально-теоретического метода прогнозирования разрушения материалов для радиоэлектроники // Известия вузов. Физика. 2012. № 7/2. С. 3–8.
9. Моделирование деформационно-прочностных свойств припойных соединений / А. В. Азин [и др.] // Известия вузов. Физика. 2013. № 7/3. С. 113–115.
10. Обоснование методики определения повреждаемости материала с использованием акустической эмиссии / А. В. Азин [и др.] // Известия вузов. Физика. 2013. № 7/3. С. 116–118.
11. Acoustic Emission Systems [Электронный ресурс] // Physical acoustics corporation / MISTRAS Group, Inc. 2010. URL: <http://www.pacndt.com/index.aspx?go=products&focus=Multichannel.htm> (дата обращения: 10.12.2013).
12. Пат. 2298785 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/14. Способ измерения концентрации дефектов при пластическом деформировании материалов в процессе силового воздействия / Березин А. В., Козинкина А. И. 15.12.2004, Бюл. № 13. 6 с.
13. A New Approach for Early Detection of PCB Pad Cratering Failures [Электронный ресурс] / Anurag Bansal [et al.] ; Cisco Systems, Inc. 2011. 12 p. Электрон. версия печат. публ. URL: <http://www.ipcoutline.org/mart/51663.shtml> (дата обращения: 01.11.2011).
14. Investigation of Pad Cratering in Large Flip-Chip BGA using Acoustic Emission [Электронный ресурс] / Anurag Bansal [et al.] ; Cisco Systems, Inc. 2011. 12 p. Электрон. версия печат. публ. URL: http://www.ipcoutline.org/pdf/investigation_pad_cratering_ipc.pdf (дата обращения: 01.11.2011).
15. Assessment of PCB Pad Cratering Resistance by Joint Level Testing [Электронный ресурс] / Brian Roggerman [et al.] // Electronic Component Technology Conference. 2008. 9 p. Электрон. версия печат. публ. URL: http://www.researchgate.net/publication/224319157_Assessment_of_PCB_pad_cratering_resistance_by_joint_level_testing (дата обращения: 01.11.2011).

References

1. 3D opticheskaja inspeksiya – revolyutsionnye tekhnologii Mirtec [3D optical inspection – the revolutionary technology Mirtec]. (In Russ.). Available at: http://www.elinform.ru/news_6512.htm (accessed 10.12.2013).
2. Sovremennoe sostojanie razvitija sistem avtomaticheskoy opticheskoy inspeksii [Current state of development of automatic optical inspection]. (In Russ.). Available at: http://www.tech-e.ru/2011_3_44.php (accessed 10.12.2013).
3. Ustanovka funktsional'nogo kontrolja SPEA [Installing of the functional control SPEA]. (In Russ.). Available at: <http://ostec-electro.ru/katalog/radio/s-probnikami/4/> (accessed 10.12.2013).
4. Trekhmernoe kachestvo [Three-dimensional quality]. (In Russ.). Available at: <http://ostect.ru/knowledge-base/publication/trekhmernoe-kachestvo/> (accessed 10.12.2013).
5. Sistema XT V 160 Nikon Metrology [System XT V 160 Nikon Metrology]. (In Russ.). Available at: <http://www.sovtest.ru/equipment/xt-v-160-nikon-metrology> (accessed 10.12.2013).
6. Andrejkiv A. E., Lysak N. V. Metod akusticheskoy jemissii v issledovanii protsessov razrushenija [The method of acoustic emission in the study of fracture processes]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 1989, 172 p.
7. Azin A. V., Marickij N. N., Ponomarev S. A., Ponomarev S. V. [Review of methods for the detection of mechanical defects of electronic modules]. *Izvestija vuzov. Fizika*. 2010, no.12/2, p. 3–9 (In Russ.).
8. Azin A. V., Marickij N. N., Ponomarev S. A., Ponomarev S. V. [Development of experimental and theoretical method for predicting fracture of materials for electronics]. *Izvestija vuzov. Fizika*. 2012, no.7/2, p. 3–8 (In Russ.).
9. Azin A. V., Marickij N. N., Ponomarev S. A., Ponomarev S. V., Suncov S. B. [Simulation of deformation and strength properties of solder joints]. *Izvestija vuzov. Fizika*. 2013, no.7/3, p. 113–115 (In Russ.).
10. Azin A. V., Marickij N. N., Ponomarev S. A., Ponomarev S. V., Suncov S. B. [Justification of methods

for determining the material damage using acoustic emission]. *Izvestija vuzov. Fizika*. 2013, no. 7/3, p. 116–118 (In Russ.).

11. *Acoustic Emission Systems*. Available at: <http://www.pacndt.com/index.aspx?go=products&focus=Multichannel.htm> (accessed 10.12.2013).

12. Berezin A. V., Kozinkina A. I. *Sposob izmerenija kontsentratsii defektov pri plasticheskom deformirovanii materialov v protsesse silovogo vozdejstviya* [A method for measuring the concentration of defects during plastic deformation of materials during power impact]. Patent RF, no. 2298785, 2004.

13. Anurag Bansal. A New Approach for Early Detection of PCB Pad Cratering Failures. Available at:

<http://www.ipcoutline.org/mart/51663.shtml> (accessed 01.11.2011).

14. Anurag Bansal. Investigation of Pad Cratering in Large Flip-Chip BGA using Acoustic Emission. Available at: http://www.ipcoutline.org/pdf/investigation_pad_cratering_ipc.pdf (accessed 01.11.2011).

15. Brian Roggerman. Assessment of PCB Pad Cratering Resistance by Joint Level Testing. *Electronic Component Technology Conference*. Available at: http://www.researchgate.net/publication/224319157_Assessment_of_PCB_pad_cratering_resistance_by_joint_level_testing (accessed 01.11.2011).

© Азин А. В., Марицкий Н. Н., Пономарев С. А.,
Пономарев С. В., Сунцов С. Б., 2014