

# Внутренний враг не пройдет, или как повысить надежность паяных соединений

А. Гаранин<sup>1</sup>, А. Маурин<sup>2</sup>

УДК 621.791.3 | ВАК 05.27.06

Скрытые дефекты, возникающие в процессе производства печатных плат, могут стать причиной преждевременного выхода из строя аппаратуры. Качество паяных соединений во многом определяет надежность электронного оборудования, работающего в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды. Одним из самых распространенных видов дефектов в паяных соединениях являются пустоты, представляющие собой микроскопические пузырьки воздуха, которые появляются при оплавлении печатных плат. В статье рассмотрены эффективные методы обнаружения скрытых пустот в припое и показано, как с помощью вакуумного модуля, встраиваемого в печь оплавления, можно существенно улучшить качество паяных соединений.

Электронные устройства, эксплуатируемые в тяжелых условиях, необходимо защищать от вредных воздействий внешней среды, ведь нельзя представить себе печатную плату, открытую всем ветрам и ударам стихий, будь то Арктика или пустыня, соленое море или горный перевал. Даже в спокойном и сугубо мирном городском пейзаже электронный модуль зачастую трудится в непрерывном стрессе, если находится в составе телекоммуникационного или силового оборудования. Предположим, что мы добились надежной внешней защиты нашего устройства. Но не только извне может угрожать опасность.

Отказ наступит, казалось бы, защищенное изделие внезапно и в самый неподходящий момент, когда нагрузка и необходимость бесперебойной работы будут особенно велики. Там, где прибор встретится с частыми перепадами температур, ускорений, вибрацией, обязательно проявятся, скрытые до времени, дефекты паяных соединений. Разрыв цепи, выход из строя и... Останется лишь надеяться, что такой дефект не приведет к аварии или катастрофе (рис. 1). К сожалению, продолжают множиться печальные вести о внезапных отказах электронного оборудования.

В результате, если речь идет об ответственных применениях изделий, связанных с выполнением важных задач, гражданских или военных, подобную угрозу нельзя считать несущественной.

Причина недостаточной прочности контактов и проблем с качеством зачастую заключается в том, что в паяном соединении одного или нескольких элементов образуются микроскопические пузырьки воздуха, которые невозможно обнаружить стандартными способами проверки. Добиться того, чтобы такие пустоты не появлялись в процессе оплавления довольно сложно. Да, опытный технолог, затратив массу драгоценного времени, сможет отрегулировать процесс производства так, чтобы результат был близок к идеалу. Беда в том, что этот результат не будет устойчив, ведь поверхностный



Рис. 1. Последствия брака пайки

<sup>1</sup> ООО «Новые технологии», технический директор, garanin@nt-smt.ru.

<sup>2</sup> ООО «Новые технологии», управляющий партнер, maurin@nt-smt.ru.

монтаж становится местом встречи многих предшествующих операций, каждая из которых, скорее всего, находится вне пределов контроля вашего предприятия. При входной проверке можно обнаружить только самые грубые нарушения качества поступающих плат, комплектующих и паяльной пасты, а взаимное влияние небольших отклонений, которые всегда вероятны, выявить не так просто. Построение же процедур входного контроля может быть чрезвычайно трудоемкой задачей (рис. 2) [1].

Могут оказаться неэффективными также вибрационные и климатические испытания, на которые многие возлагают большие надежды. Эти проверки делаются изредка, а то и одноразово, чтобы подтвердить качество «образцового экземпляра». Если же вас серьезно беспокоит качество всех будущих изделий, выполненных по технологии поверхностного монтажа, придется найти более надежный способ защиты.

Прежде всего, следует выбрать метод контроля, который однозначно определит состояние внутренней структуры паяного соединения. Тут не справятся ни визуальный, ни автоматизированный оптический контроль, ни даже тестирование на стенде, ведь засевший внутри соединения пузырек воздуха может и не оказать значимого влияния на электрические характеристики.

Каким же образом можно проверить качество монтажа компонентов на печатную плату? Особенно тех компонентов, выводы и теплоотводы которых скрыты от взгляда пытливого инженера? Например, микросхем в корпусах BGA и QFN?

В соответствии с отечественными стандартами в паяном соединении пустот не должно быть более 25% от общего объема паяного соединения [2]. Иначе существенно усиливается их пагубное влияние, как было определено при проведении серий испытаний методами термоциклирования и термоударов [3]. Если более пристально рассмотреть места локализации пустот внутри шариковых контактов, то самым опасным является расположение пустот в местах соединения шарикового контакта и площадки печатной платы. Стандарт IPC 7095 говорит, что в этом случае общий диаметр пустот не должен превышать 20% от диаметра шарикового контакта при оценке по самому строгому классу III [4].

Изучив стандарт, мы узнаем, что номинальный диаметр контакта для самого миниатюрного компонента составляет 150 мкм [5]. Это значит, что современная система рентгеновского контроля с микрофокусным источником справится с задачей контроля качества оплавления самых миниатюрных компонентов.

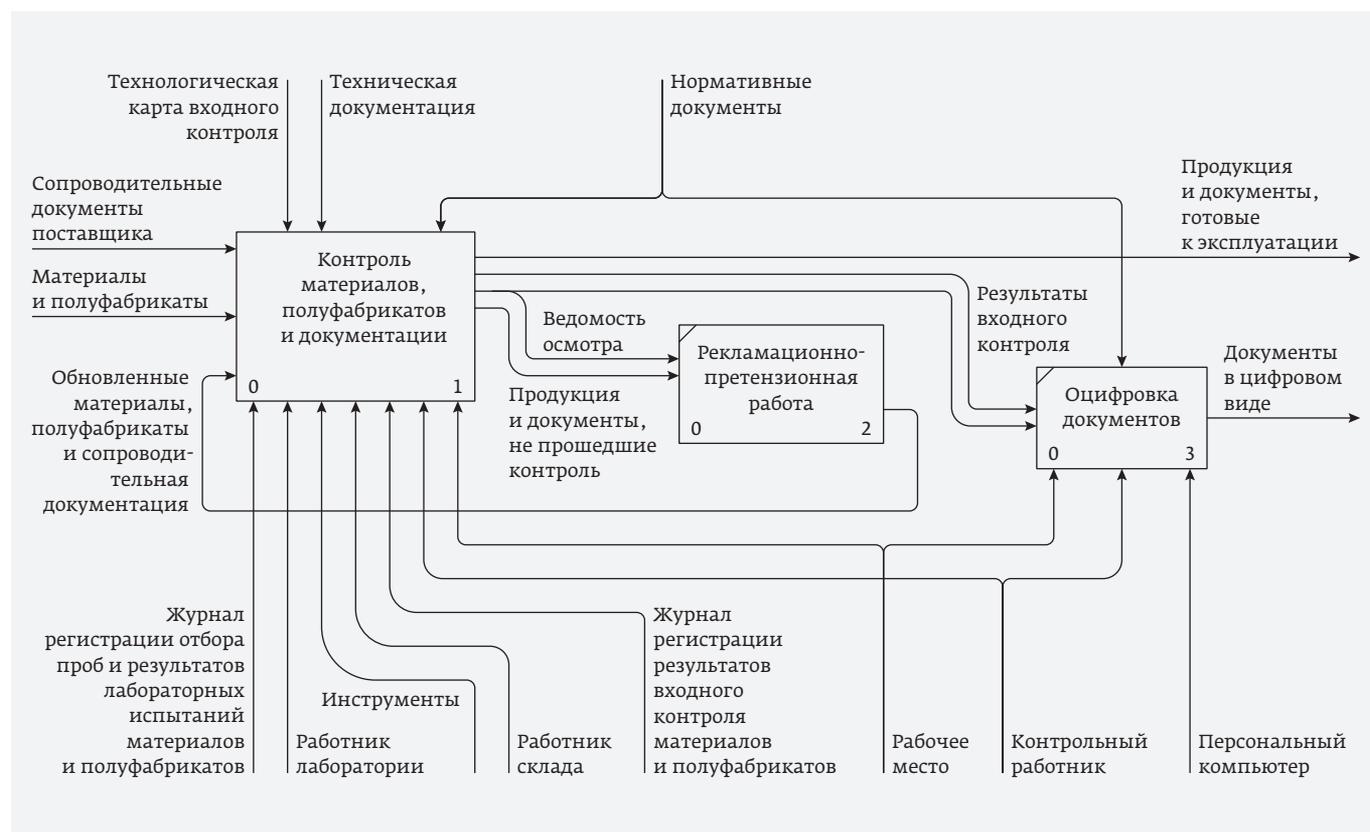


Рис. 2. Функциональная модель процедуры входного контроля

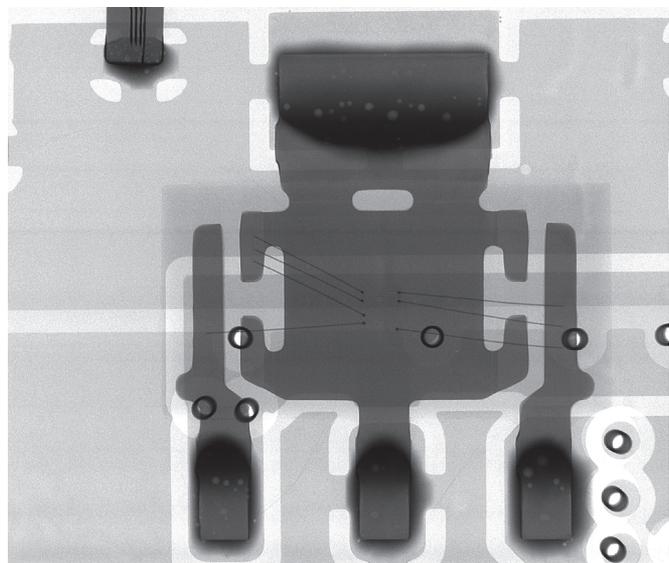


**Рис. 3.** Установка рентгеноскопического контроля Seamark ZM-X6600BM

Примером такой установки является система рентгеновского контроля Seamark ZM-X6600BM, оснащенная закрытым источником излучения (рис. 3).

Следует отметить, что для контроля качества оплавления припоя в условиях производства чаще всего нет необходимости использовать дорогостоящие лабораторные рентгеновские установки с субмикронным разрешением, которые отличаются высокими требованиями к техническому обслуживанию.

Давайте посмотрим, как выглядят на рентгеновском снимке те пустоты в паяном соединении, о которых идет речь (рис. 4). С помощью недорогого и простого в использовании рентгеновского аппарата можно увидеть светлые

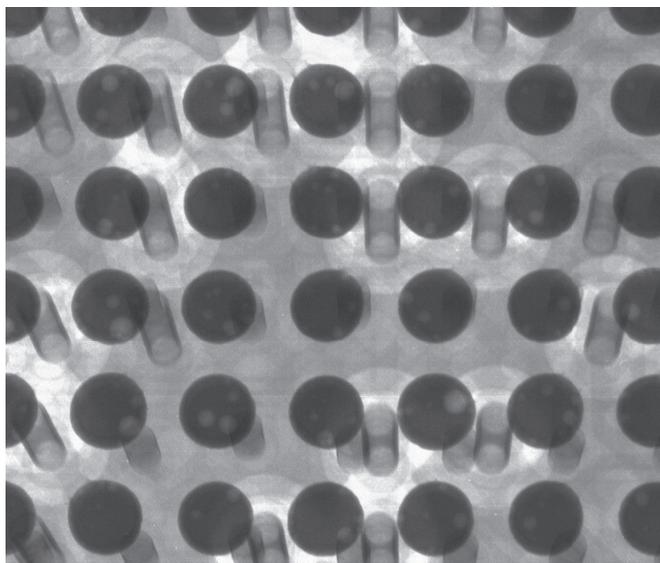


**Рис. 4.** Пустоты в паяных соединениях

пятна то там, то здесь, рассыпь «пузырьков шампанского», прозрачные области внутри выводов BGA-микросхем (рис. 5). Это и есть следы «пустотного диверсанта», которого нам предстоит найти и обезвредить.

Каким образом можно оценить деградацию механической прочности соединения, выявить ухудшение его электрических и тепловых характеристик? Представьте себе, что может наделать такая пустота в припое в ходе эксплуатации изделия, оказавшись под теплоотводом QFN-элемента, внутри паяного соединения вывода BGA или в соединении, являющемся частью СВЧ-тракта? Да и в любом месте электрической цепи такой «гость» – совсем не подарок.

Что же делать, когда выявлены признаки недостаточного качества пайки? Можно ввести тотальный контроль за качеством финишного покрытия контактных площадок, ужесточить правила хранения плат и компонентов. Можно закупить целый комплекс оборудования, позволяющего проверять паяемость компонентов, контролировать равномерность и форму нанесения паяльной пасты. При этом можно потерять много времени, нарушить процессы производства, а деньги могут оказаться выброшенными на ветер. Существует более эффективный способ защиты, который к тому же во многом снизит беспокойство, причиняемое неидеальной комплектацией и расходными материалами. Суть метода такова: позволим пустотам образовываться при печати паяльной пасты в установке, но запретим им оставаться в паяном соединении в печи оплавления. Принцип, который здесь применяется, основан на том, что каждая такая пустота исходно это пузырек воздуха, который и сам стремится вырваться за пределы соединения вывода элемента и контактной площадки.



**Рис. 5.** Пустоты в контактах корпуса BGA



Рис. 6. Печь SMT с вакуумным модулем

Пузырьку надо лишь помочь в таком полезном стремлении, для чего существует... вакуум. Действительно, чем больше перепад давлений в самом пузырьке и в окружающем оплавляемую печатную плату пространстве, тем быстрее и надежнее будет процесс очистки расплавленного припоя от газовых примесей. В результате мы получим прочные, монолитные контакты, готовые противостоять всем нагрузкам. Но как обеспечить такой полезный вакуум в конвейерной печи? Есть простое и изящное решение: в некоторых печах предусмотрена возможность встраивания вакуумного модуля, который не только значительно улучшает качество пайки, но и может способствовать увеличению пропускной способности линии в целом (рис. 6).

Еще совсем недавно вакуумная технология была доступна лишь крупным международным корпорациям, производителям автомобильной электроники и специализированного оборудования. Но уже сегодня российские производители имеют возможность

реализовать эту эффективную технологию на своих предприятиях. Пример такого внедрения приведен в статье [6], где подробно описан процесс интеграции печи оплавления с вакуумным модулем на новом предприятии в Санкт-Петербурге.

Еще раз взглянем на результат оплавления с помощью недорогой рентгеновской системы. Итак, сочетание простой и быстрой рентгеновской проверки с пайкой при пониженном давлении даст нам искомую надежность контактов. Смотрите, пузырьки покинули соединения, а значит цель, которой мы добивались, достигнута (рис. 7).

Хотите надежно защитить свои изделия от преждевременного отказа?

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Зеленков Д. В., Похомчикова Е. О.** Исследование вариантов реализации мобильного рабочего места работника входного контроля Иркутского авиационного завода // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2022. № 6.
2. ГОСТ Р 56427-2022. Пайка электронных модулей радиоэлектронных средств. Автоматизированный смешанный и поверхностный монтаж с применением бессвинцовой и традиционной технологии. Требования к технологии сборки и монтажа. 2022.
3. **Ribas M., Sarkar S., Bilgrien C.** Effect of voids on thermo-mechanical reliability of solder joints // Proceedings of SMTA International. Rosemont, IL, USA. Sep. 17–21, 2017. PP. 667–673.
4. **Previti M. A., Holtzer M., Hunsinger T.** Four ways to reduce voids in BGA/CSP package to substrate connections // Cookson Electronics. 2010.
5. ГОСТ IEC 61188-5-8-2013. Межгосударственный стандарт. Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 5–8. Общие требования. Анализ соединений (посадочные места для монтажа компонентов). 2014.
6. Фантастическая технология для тех, кто не верит в сказки // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 9. С. 56–61.

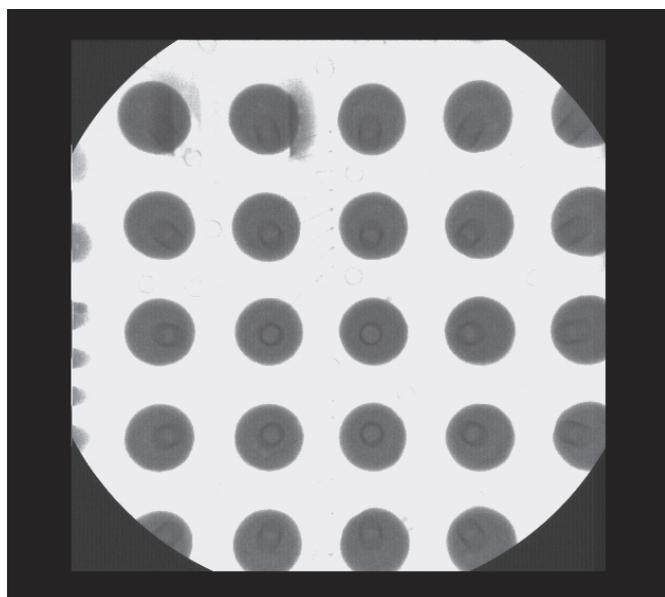


Рис. 7. Рентгеновский снимок контактов после обработки в вакуумном модуле