

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПАЙКИ В КОНВЕКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Владимир Ланин

Ткаченко Кирилл

Температурный профиль пайки электронных компонентов – важнейший критерий качества паяных соединений. Оптимизированный процесс оплавления в конвекционной печи обеспечивает контролируемые циклы нагрева и охлаждения и, как следствие, формирование воспроизводимых по качеству паяных соединений.

Температурные профили конвекционной пайки

В конвекционных печах применяют несколько схем нагрева, что является результатом развития технологии. Инфракрасные лампы с фокусированным излучением уступили место нагревателям панельного типа с вторичным излучением и, наконец, печам с принудительной конвекцией нагретого воздуха, которые в настоящее время нашли широкое применение.

В печах конвекционной пайки в качестве нагревателей используют мощные калориферы, а также ИК-излучатели. Тепло в этих печах переносится преимущественно за счет принудительного движения газовой среды встроенными вентиляционными системами (рис. 1).

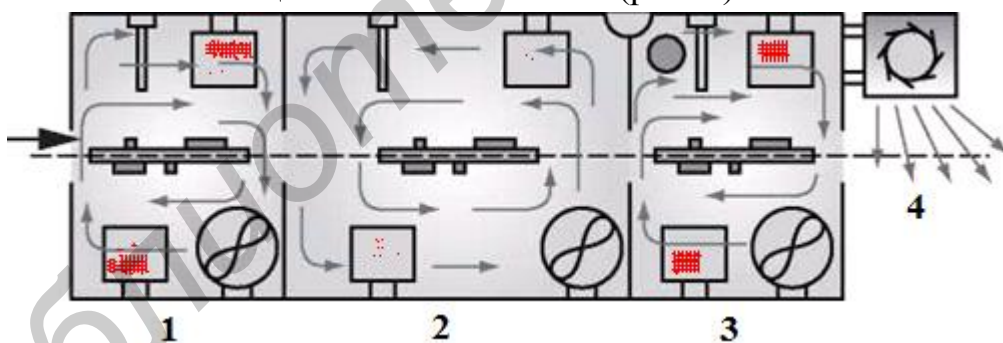


Рис. 1. Схема конвекционной печи оплавления: 1–зона предварительного нагрева, 2–зона нагрева, 3– зона оплавления, 4– зона охлаждения

Потоки горячего газа более равномерно прогревают изделия, снимают температурные перепады и позволяют эффективно управлять температурным профилем в печи. Для бессвинцовой технологии рекомендуется применение печей с 12–14 зонами нагрева, что позволяет обеспечить требуемый температурный профиль пайки различными типами припоев. Использование систем пайки в контролируемых атмосферах с использованием защитных газов поз-

воляет улучшить качество паяных соединений, сократить потребление флюса и время пайки [1].

Выбор температурного профиля пайки паяльных паст в значительной степени зависит от типа и состава флюса, входящего в состав пасты. Паста на основе сплава Sn62/Pb36/Ag2 содержит металлическую составляющую для трафаретной печати 90%, для дозирования – 85 % с размером частиц 20–45 мкм. Для паяльных паст, не требующих отмывки, в современных конвекционных печах рекомендован новый профиль пайки, отличный от традиционного RSS (Ramp – Soak – Spike, «наклон – выдержка – пик») и названный RTS (Ramp – To – Spike, «наклон – пик») (рис. 2) [2].

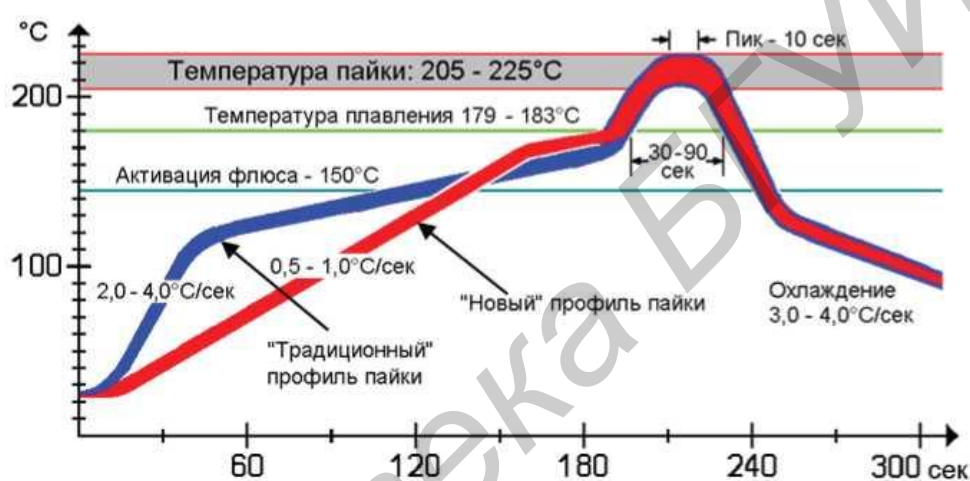


Рис. 2. Типовой и новый термопрофили пайки в конвекционной печи

Температурный профиль пайки включает стадии: предварительного нагрева, стабилизации температуры, оплавления и охлаждения.

Стадия предварительного нагрева позволяет снизить тепловой удар на электронные компоненты и печатные платы и удалить растворитель из паяльной пасты. Для паяльных паст Sn62/Pb36/Ag2 и Sn63/Pb37 предварительный нагрев рекомендуется осуществлять до температуры 95–130°C со скоростью для типового профиля 2–4°C/с и 0,6–1,8°C/с для нового. Высокая скорость предварительного нагрева приводит к преждевременному испарению растворителя и к целому ряду дефектов: повреждению компонентов, разбрызгиванию шариков припоя и возникновению перемычек припоя.

Стадия стабилизации позволяет активизировать флюс и удалить избыток влаги из паяльной пасты. Повышение температуры на этой стадии происходит медленно, что обеспечивает нагрев всех компонентов на плате до одинаковой температуры. Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150°C. Если стадия стабилизации проводится недостаточное

время, результатом могут быть дефекты типа: «холодная» пайка и «надгробный камень». Подобные дефекты наблюдаются, как правило, в печах с инфракрасной системой нагрева. Рекомендуемое время стабилизации для «традиционного» профиля составляет 90 – 150 с, для нового достаточно 30 с. В конце зоны стабилизации температура составляет 150 – 170°C. В случае длительного времени и/или высокой температуры флюс может потерять защитные свойства, его активность снижается, что приводит к ухудшению качества соединений и разбрызгиванию шариков припоя на стадии оплавления.

На стадии оплавления температура повышается до расплавления паяльной пасты и происходит формирование паяного соединения. Для образования надежного паяного соединения максимальная температура пайки должна на 30–40°C превышать точку плавления паяльной пасты и составлять 205–225°C. Время, в течение которого печатная плата находится выше точки плавления припоя, должно быть в пределах 30–90 с, предпочтительно не более 60 с. Скорость нагрева в зоне оплавления должна составлять 2–4°C/с.

Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна быть максимальной. В тоже время высокая скорость охлаждения может вызвать термоудар по электронным компонентам. Рекомендуемая скорость охлаждения 3 – 4°C/с до температуры ниже 130°C.

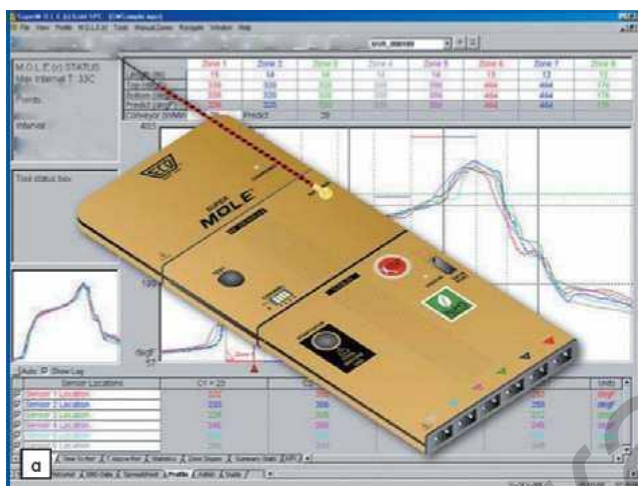
Окончательный выбор режимов производится исходя из конструкции печатной платы, типа и размеров компонентов, количества компонентов на печатной плате, особенностей оборудования, типа паяльной пасты. Необходимо учитывать, что реальная температура на плате в процессе пайки на 20–40°C ниже установленной в печи.

Методика оптимизация температурных профилей включает стадию термопрофилирования, которая состоит в том, что данные о температурных полях собираются с многочисленных термопар, располагаемых в критических точках печатной плате. Измерения рекомендуется проводить, как минимум, в 3 точках: сильного нагрева (где установлен легкий элемент); слабого нагрева (где установлен элемент с большой «тепловой массой»); повышенной температурной чувствительности.

Термопары подключают пайкой высокотемпературным припоем; приклеиванием; специальной клейкой пленки; с помощью механических щупов. После предварительной подготовки устройство, снабженное термобарьером, пропускается через конвекционную печь вместе с опытной печатной платой. В процессе пайки температурно-временная информация записывается в память устройства, либо передается в режиме реального времени на ПК и, с помощью специализированного ПО, отображается на мониторе оператора.

Оператор с помощью ПО анализирует полученные характеристики и регулирует настройки системы пайки, чтобы получить оптимальный профиль.

При выборе технических средств термопрофилирования критичным является диапазон рабочих температур. Беспроводное устройство для построения термопрофиля Super M.O.L.E. Gold компании ECD (рис. 3,а) содержит набор из 6 термопар, 36 каналов и применяется в системах пайки волной и конвекционных печах при температурах до 482°C.



а



б

Рис. 3. Беспроводные устройства контроля термопрофиля Super M.O.L.E. Gold (а) и MEGAM.O.L.E. 20 (б)

Беспроводное устройство для построения термопрофиля MEGAM.O.L.E. 20 (рис. 3,б) проводит измерения по 20 каналам. Это максимально возможное количество каналов на данный момент для устройства построения термопрофиля. В его конструкции содержится 5 быстросъемных термопар с нано-коннекторами, обеспечивающими быстрое и надежное подключение, и надежная термоизоляция для длительных исследований.

Методика оптимизации термопрофиля

Методика оптимизации термопрофиля пайки в конвекционной печи состоит из следующих этапов:

1. Анализ свойств паяльной пасты, параметров конвекционной печи, расчет теоретического профиля и определение разницы температур между нагревателями печи и печатной платой.

2. Выбор средств контроля термопрофиля пайки, установку ПМИ на тестовую плату, закрепление термопар в контрольных точках.

3. Пайка ПМИ в конвекционной печи и измерение термопрофиля пайки тестовой платы.

4. Сравнение полученного профиля с теоретическим и корректировка температуры нагревателей в печи.

5. Повторение процесса оплавления и оптимизация термопрофиля.

6. Оптический и рентгеновский контроль качества паяных соединений.

Так как покрытие контактных площадок печатной платы и паяльная паста являются свинец содержащими, а большинство ПМИ изготовлены по бессвинцовой технологии, то необходимо оптимизировать термопрофиль для комбинированной пайки. В табл. 1 приведены основные данные профилей оплавления для оловянно-свинцовой и бессвинцовой технологии пайки.

Таблица 1. Характеристики профилей для сплавов SnPb и SAC

Характеристики профиля	Сплав SnPb	Бессвинцовый сплав SAC
Температура солидуса	183 °C	217-220 °C
Диапазон температур пайки	210-220 °C	235-245 °C
Минимальная пиковая температура оплавления	205 °C	230 °C
Скорость нагрева компонентов	2-4 °C/c	2-4 °C/c
Скорость охлаждения компонентов	2-6 °C/c	2-6 °C/c
Температура стабилизации	100-180 °C	140-220 °C
Время стабилизации	60-120 с	60-150 с
Выдержка выше точки ликвидуса	60-90 с	60-90 с
Выдержка при пиковой температуре	20 с, максимум	20с, максимум

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что пиковая температура 210–220 °C подходит для оловянно-свинцовых выводов с температурой плавления 183 °C, но не для бессвинцовых шариков BGA, имеющих температуру плавления 217 °C. И наоборот, температура 235–245 °C может стать критичной для оловянно-свинцовых компонентов. Зато температура 228-232 °C с выдержкой от 45 до 60 с выше точки ликвидуса достаточна для пайки бессвинцовых BGA и не причинит серьезных повреждений оловянно-свинцовым выводам компонентов на плате.

На основе анализа исходных данных о пасте и критичных элементах (BGA), нового температурного профиля пайки построен теоретический тер-

мопрофиль для комбинированной технологии поверхностного монтажа (рис. 4). Переменными, учитываемыми при разработке профиля пайки, являются скорость конвейера и температура панелей нагрева конвекционной печи.

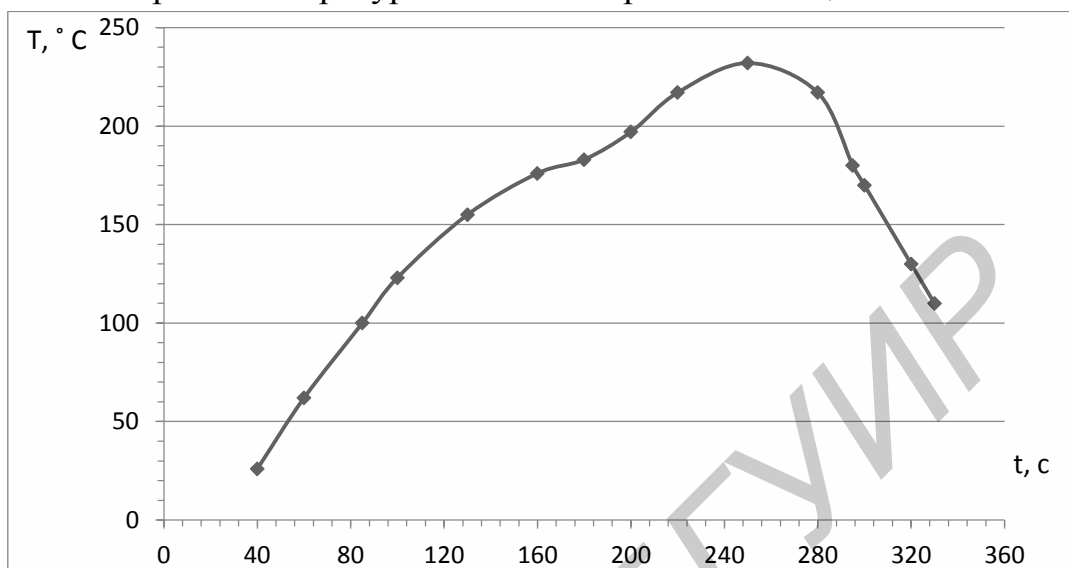


Рис. 4. Теоретический термопрофиль пайки

Конвекционная печь Centurion720 (рис. 5) – это инновационная платформа печей оплавления припоя фирмы Vitronics Soltec, которая имеет современный дизайн, улучшенные характеристики теплопередачи и тепловой производительности, улучшенный контроль термопрофиля.



Рис. 5. Конвекционная печь оплавления Centurion720

Отличительные особенности печи Centurion: быстросменные нагреватели и двигатели вентиляторов; системы автоматической смазки цепи конвейера, отслеживания ПП и управления потребляемой мощностью. Допол-

нительные возможности: патентованная система удаления паров флюса; системы, обеспечивающие увеличение температурного градиента между зонами оплавления, высокоэффективного контролируемого охлаждения, обеспечения пайки в азотной среде.

Печь Centurion720 имеет 7 зон нагрева и 2 зоны охлаждения. На панели управления имеется индикация как устанавливаемой, так и действительной температуры. Печь комплектуется термопрофайлером и набором термопар для измерения температуры в отдельных точках непосредственно на поверхности плат или компонентов. Для пайки платы электронного модуля в программном обеспечении печи устанавливают соответствующие температуры зон нагрева и скорость движения конвейера.

В качестве тестовых ПМИ использованы микросхемы ADSP в корпусе BGA, а также BGA микросхема на 128 выводов фирмы TOPLINE. Тест-плату с закрепленными термопарами пропускают через конвекционную печь при скорости конвейера 70 см/мин и температурном режиме нагревателей выбранном ранее. После того, как термопрофиль был измерен, проводят анализ разности температур в 2 точках: одна из которых это максимальная температура на профиле в зоне оплавления, а вторая в зоне стабилизации. Исходя из разницы температур нагревателей и платы, устанавливают температурный режим нагревателей, соответствующий теоретическому профилю построенному ранее. Температурный профиль зон нагрева приведен в табл. 2.

Таблица 2. Термопрофиль для методики подбора температуры нагревателей

Зона	1	2	3	4	5	6	7
Температура, °С	160	175	185	200	235	255	235

На рис. 6 показаны измерения термопрофиля «пустой» платы по вышеприведенному профилю и точки, выбранные для анализа разности температур. Максимальная температура на печатной плате составляет 235°С, в то время как температура нагревателя в зоне – 255°С. Температура в зоне стабилизации равна 182°С, в то время как температура нагревателя в зоне стабилизации составляет 200°С, таким образом разница температур между нагревателями и местом крепления термопар составляет 20±5°С. После проведения данных действий с тест-платой получен термопрофиль (рис. 7), анализ которого показал, что предварительный нагрев осуществляется слишком быстро.

Для уменьшения скорости нагрева необходимо понизить температуру первого и второго нагревателей на 10°С и 5 °С соответственно. Из данного профиля также видно, что начальная скорость оплавления пасты недостаточ-

на большая. Для оптимизации скорости оплавления необходимо поднять температуру пятого нагревателя на 5°C.

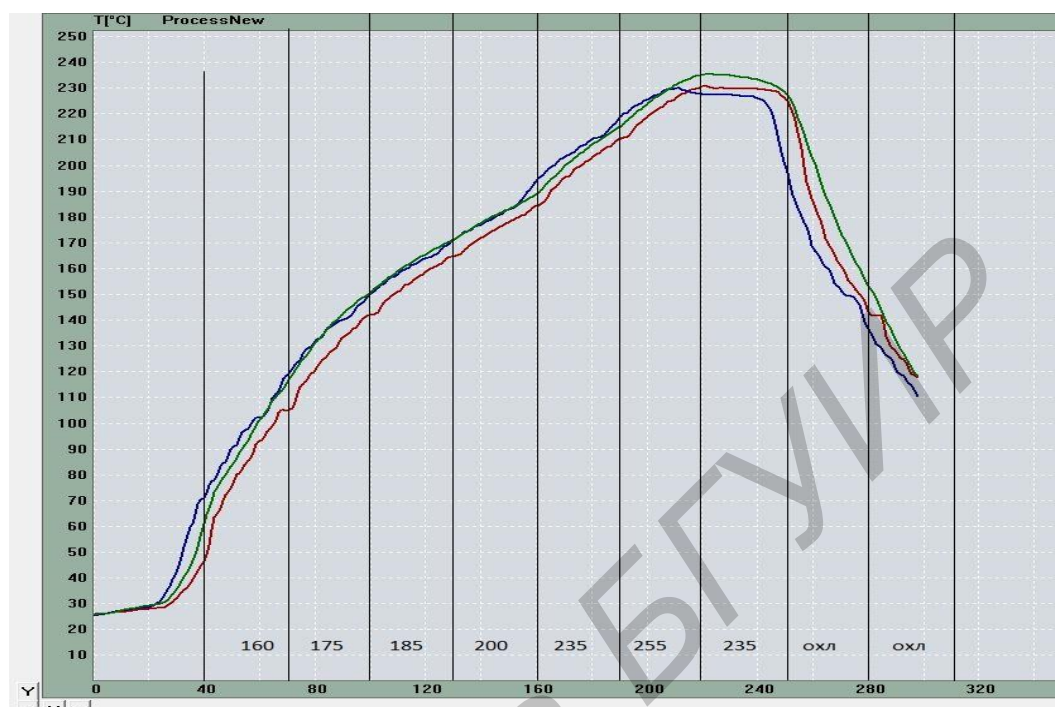


Рис. 6. Термопрофиль для метода измерения разницы температур



Рис. 7. Термопрофиль тестовой платы

Данный профиль не соответствует теоретическому, поскольку максимальная температура оплавления тестовых ПМИ ниже требуемой 228-232 °С.

Для того, чтобы получить требуемый термопрофиль, необходимо увеличить температуру шестого и седьмого нагревателей в зоне оплавления на 5°C.

Оптимальный термопрофиль (рис. 8) наиболее соответствует теоретическому термопрофилю по всем параметрам. Максимальная температура в зоне оплавления находится в пределах от 228-232 °С. Время оплавления составляет 60 с. Скорость предварительного нагрева находится в пределах от 0,5–2°C/с.

Результат оптического контроля тестовой BGA микросхемы установке ERSASCOPE показан на рис. 9. Видно, что шариковые выводы микросхем BGA оплавилась и приняли каплевидную форму контактных площадок.

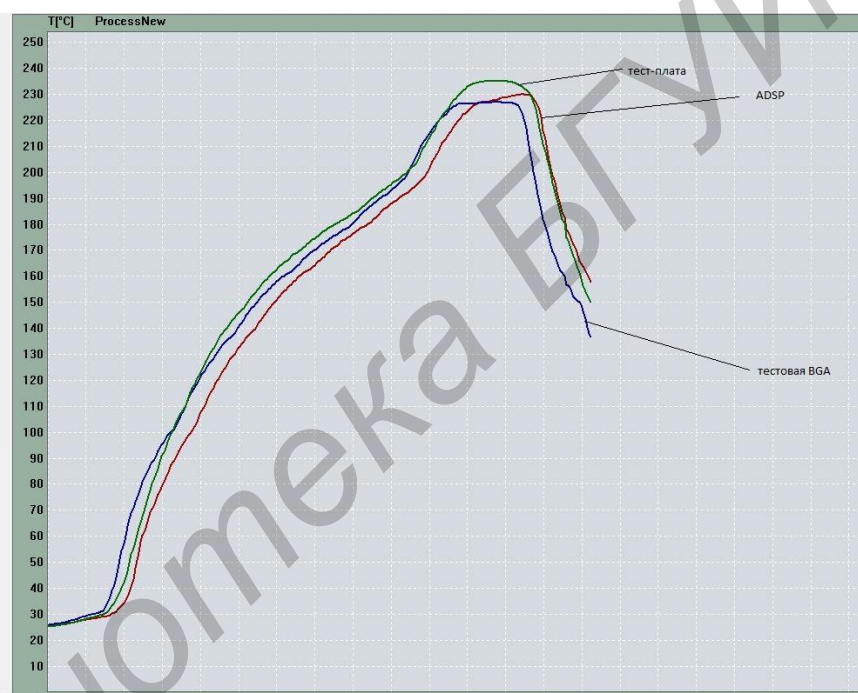


Рис. 8. Оптимальный термопрофиль комбинированной пайки

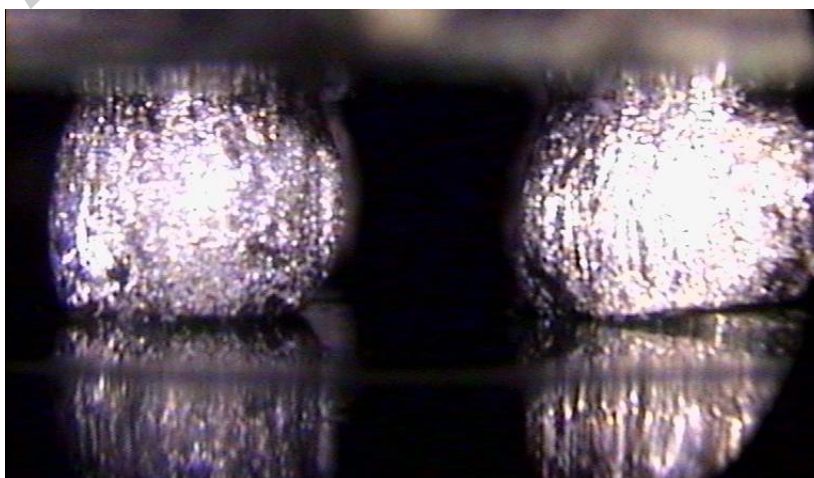


Рис. 9. Результат оптического контроля пайки тестовой BGA

После оптического контроля качества пайки отдельных ПМИ, проведен рентген контроль качества пайки тестовой BGA (рис. 10).

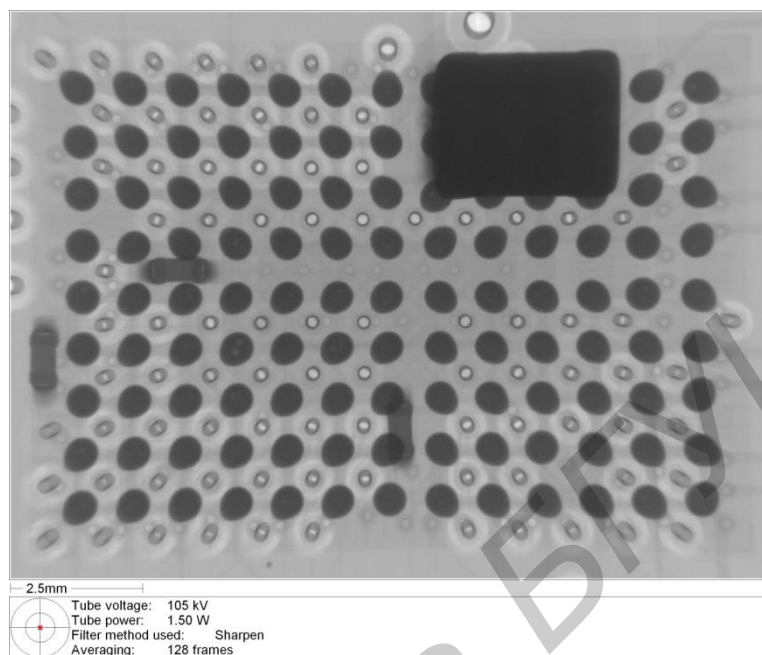


Рис. 10. Результат рентген контроля тестовой BGA

По результатам рентгеновского контроля видно, что шариковые выводы микросхем BGA оплавилась на всех контактных площадках печатной платы. Таким образом, оптимизированный температурный профиль пайки электронных модулей в конвекционной печи отвечает требованиям качественной пайки по следующим критериям:

- оплавление всех шариковых выводов на контактных площадках;
- наличие пустот не более 5%;
- отсутствие брызг и шариков припоя.

Литература

1. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007.
2. Режимы пайки оплавлением. www.elinform.ru