DOI: 10.22184/1992-4178.2026.260.7.112.118

Реболлинг BGA-компонентов: как точно восстановить геометрию вывода

Д. Рубай[1], В. Тюльков[2]

УДК 621.3.049.75| ВАК 2.2.2

Монтаж компонентов в BGA-корпусах, где контактные выводы расположены на нижней поверхности в виде массива шариков припоя, принципиально отличается от работы с традиционными компонентами и требует особых навыков и специального оборудования. Часто при ремонте печатных плат с BGA-компонентами возникает необходимость проведения реболлинга – ключевой процедуры при восстановлении таких компонентов. В статье рассмотрены основные методы реболлинга, базовые этапы и оснастка для проведения процесса. Представлена оценка качества восстановления шариковых выводов, проведено сравнение методов реболлинга на основе экспериментальных и расчетных данных.

Известно, что даже дорогая и ответственная техника иногда отказывает. Даже если процессы на производстве с точки зрения выполнения технологических операций и их контроля выстроены грамотно. Причин может быть множество: случайные удары печатной платы, нюансы эксплуатации, влияние окружающей среды. Хорошо, если есть возможность заменить оборудование без больших финансовых вложений. А что делать, если модуль стоит десятки, сотни тысяч и замены ему нет? Остается только ремонт. Один из важных видов ремонта печатных плат – реболлинг BGA-компонентов, которые все чаще применяются в различных устройствах. Процесс реболлинга не новый, и на рынке достаточно оборудования, устройств и оснастки для этого. Но мало иметь хороший инструмент – необходимо еще и правильно им воспользоваться.

Существует несколько методов проведения реболлинга. Попытаемся в них разобраться, при этом опустим процесс снятия шариков, а уделим внимание процессу восстановления шариковых выводов. На разных предприятиях он выглядит по-разному, поэтому наша цель – дать количественную оценку качества восстановления шариковых выводов путем сравнения экспериментальных и расчетных данных. В данной статье рассматриваются три основных метода реболлинга для шариков диаметром 0,5 и 0,6 мм. Шарики меньшего размера – 0,3 и 0,4 мм – не всегда поддаются автоматизированной установке, тем более ручной.

Итак, первый метод назовем «Заводской». Он повторяет процесс производства микросхем на предприятиях: на микросхему наносится паяльная паста, устанавливаются шарики и оплавляются по строго нормированному профилю. В этом случае геометрия шариковых выводов не отличается от оригинала. В реальных условиях для выполнения реболлинга необходимо:

1. нанести паяльную пасту, что проще выполнить с помощью трафарета (возможно нанесение пасты дозатором в случае небольшого количества точек и невысокой требуемой точности);
2. установить шарики на микросхему (оптимальным является применение автомата-установщика).

При трафаретной печати и установке шариков на автомате для точного позиционирования микросхемы необходимы держатели, а для правильной и быстрой установки шариков в автомате – поддон. Создается программа, по которой происходит захват и установка шариков на микросхему. После запуска машина в автоматическом режиме с высокой точностью выполняет процесс. Скорость современного оборудования и близкое расположение шариков позволяют достичь высокой производительности. Например, при скорости в 20 тыс. компонентов в час время установки для микросхемы с 676 выводами составит около 2 мин. Для проведения процесса необходимо спроектировать и изготовить соответствующий матричный питатель (поддон) для шариков диаметром 0,5 или 0,6 мм (рис. 1).

[1] ООО «Р-ТехноГрупп», технический директор, dr@r-technogroup.ru.

[2] Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, заведующий лабораторией поверхностного монтажа, smt.lab@yandex.ru.

Для микросхем с небольшим количеством выводов вспомогательным методом является ручное нанесение пасты на дозаторе и установка шариков на полуавтомате. В этом случае возможна установка на компонент до 256 шариков. Дело в том, что у оператора после каждой сотни устают глаза и руки от напряжения, ему требуется перерыв. А после двух часов паста подсыхает, и шарики уже не держатся на поверхности. Ну а точность установки существенно зависит от физических возможностей оператора.

Еще один способ нанесения пасты и расстановки шариков – использование специальной механической оснастки с трафаретами (прямого или непрямого нагрева). Забегая вперед, скажем, что они бывают тонкими и толстыми. Оснастка состоит из двух частей, нижняя из которых – основа с механизмом позиционирования микросхемы, а верхняя – различные трафареты с механизмом совмещения. На компонент сверху накладываются тонкие трафареты для нанесения пасты, затем они совмещаются, далее мини-шпателем наносится паста (обычно не ниже пятого типа). После нанесения трафареты снимаются. Затем сверху на компонент накладывают более толстый трафарет. По поверхности раскатываются новые шарики-выводы, которые временно фиксируются на пасту за счет ее клейкости. Далее трафарет снимается. Процесс ручного нанесения пасты и шариков с помощью спецоснастки показан на рис. 2. Оплавление шариков производится в конвекционной печи по стандартному термопрофилю для пайки печатных плат.

Второй метод назовем «Флюс-гель». Его суть заключается в ручной или автоматизированной установке шариков на микросхему с предварительно нанесенным флюс-гелем. Здесь необходимо точное дозирование по всей плоскости микросхемы. Неравномерный по высоте

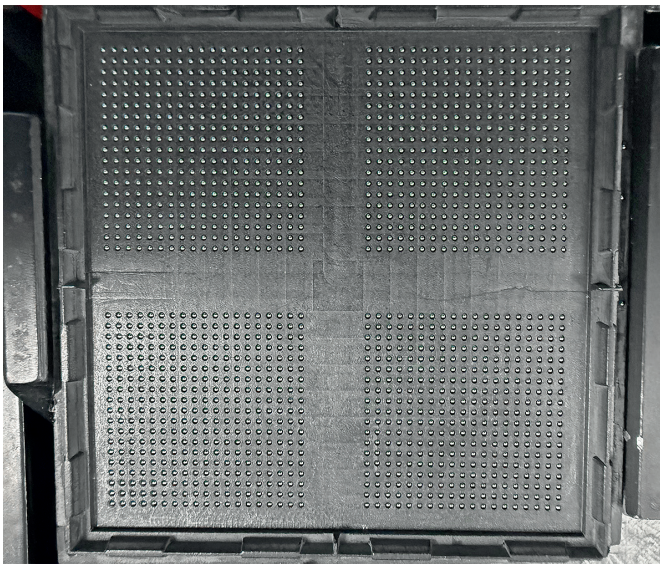


Рис. 1. Матричный поддон для шариков

флюс во время нагрева приведет к сдвигу шариков и высокой вероятности сплавления.

Третий метод назовем «Паста». Это нанесение паяльной пасты через трафарет и оплавление. Здесь, как и в предыдущем методе, изменяется высота шариков, теперь уже похожих, скорее, на выпуклые линзы. На рис. 3 графически показаны прогнозируемые результаты трех методов реболлинга.

Для проведения экспериментов и проверки результатов расчетным методом были выбраны BGA-микросхемы Xilinx Kintex FFG 676 с шариковыми выводами диаметром 0,5 мм и шагом 1,0 мм. Микросхемы были сняты с оригинальных печатных плат и предварительно очищены от старых шариков (рис. 4). В качестве новых выводов

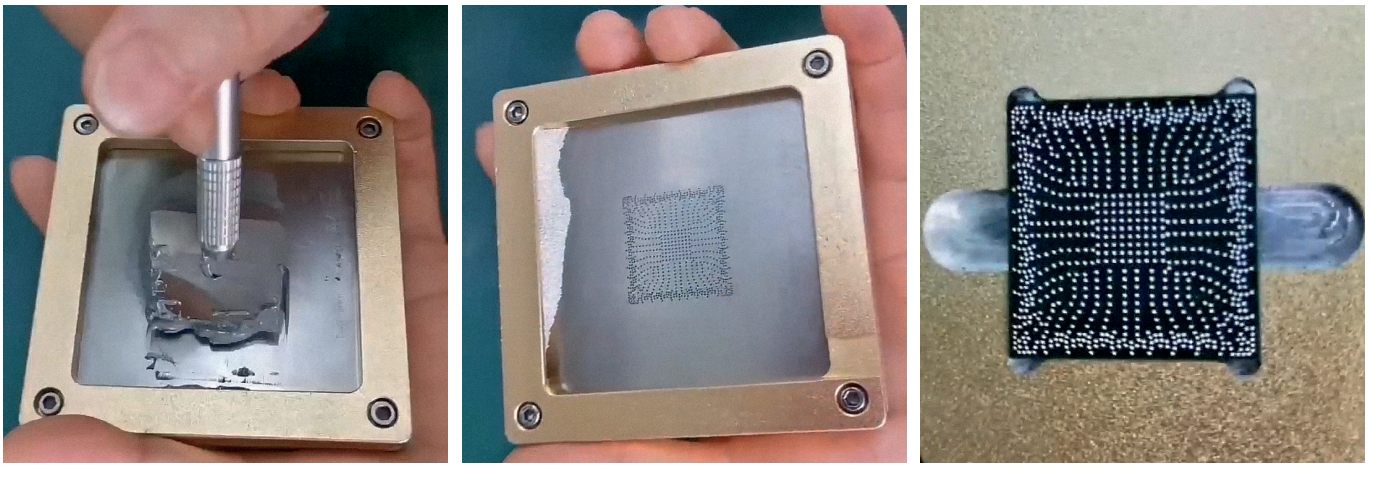


Рис. 2. Процесс ручного нанесения пасты и шариков с помощью спецоснастки

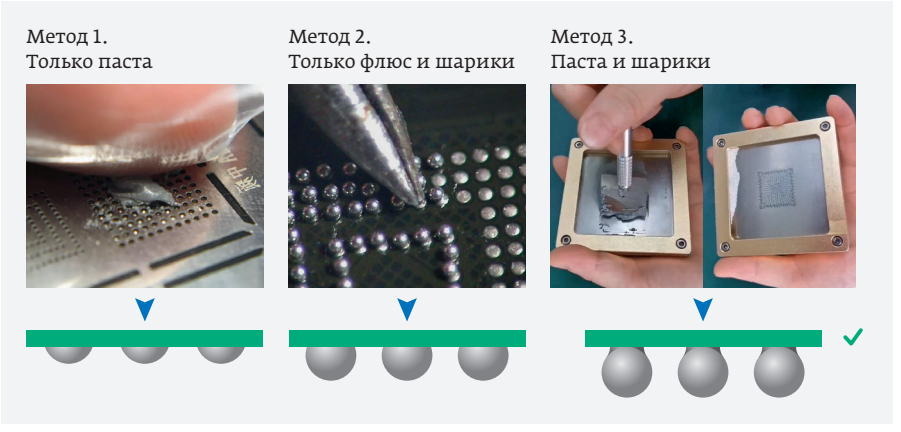


Рис. 3. Прогнозируемые результаты трех методов реболлинга

использовали свинец-содержащие шарики из припоя Sn63Pb37 диаметром 0,5 мм. Эксперименты по исследованию различных методов реболлинга проводились в лаборатории поверхностного монтажа Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Попробуем оценить методы реболлинга с точки зрения формирования шарика. Очевидно, что объем шарикового вывода будет сформирован из металлической части «ингредиентов», которые используются в описанных трех методах:

- в «Заводском» методе – из самого шарика и металлической части паяльной пасты;
- в методе «Флюс-гель» – только из шарика;
- в методе «Паста» – только из металлической части пасты.

Начнем с более простого метода – «Паста». Искомое значение объема рассчитывается исходя из объема цилиндра диаметром $D = 0,5$ мм (радиус $R = 0,25$ мм) и высотой, равной толщине трафарета – обычно не более $h = 0,2$ мм. Таким образом, объем шарика будет равен:

$$V\text{п} = \pi R^2 h = 3,14159 \cdot 0,25^2 \cdot 0,2 = 0,0393 \text{ мм}^3.$$

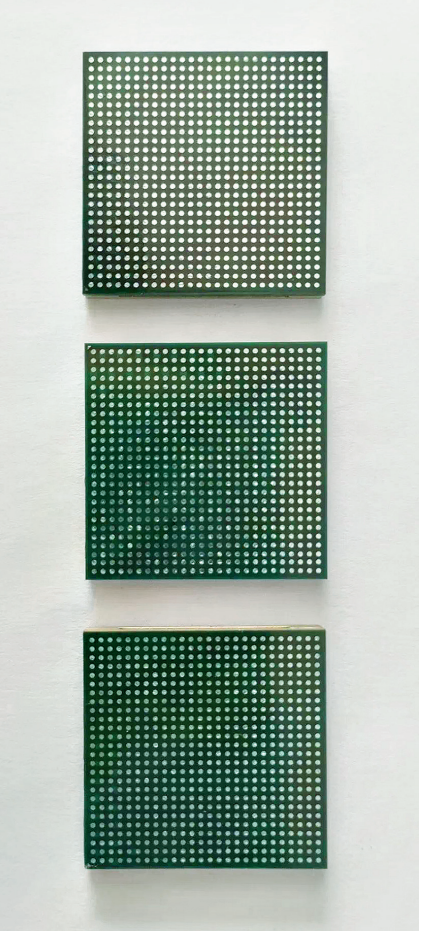


Рис. 4. Микросхемы Xilinx Kintex FFG 676 для проведения экспериментов

Как показывает практика, при печати за счет передачи давления жидкой пасты в разные стороны реальный объем будет чуть больше – примерно на 15–20%. Учитывая этот факт и среднюю объемную долю припоя в пасте $k = 0,5$, объем линзы будет равен:

$$V_{\text{п}} = 0,0393 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 0,0236 \text{ мм}^3.$$

Микросхема с нанесенной пастой показана на рис. 5.



Рис. 5. Реболлинг по методу «Паста»



Рис. 6. Реболлинг по методу «Флюс-гель»

Для метода «Флюс-гель» берем только объем шарика с радиусом $R=0,25$ мм, который рассчитывается по следующей формуле (очевидно, что здесь коэффициент объемной доли не применим):

$$V_ф=\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4}{3}\cdot 3,14\cdot 0,25^3=0,0654.$$ мм^3.

Для данного метода был подготовлен образец с нанесенным флюс-гелем и установленными шариками (рис. 6).

Для «Заводского» метода объем рассчитаем, как сумму объемов металлического шарика радиусом $R=0,25$ мм и металлической части нанесенной пасты с той лишь разницей, что толщина трафарета будет почти в два раза меньше, то есть $h=0,1$ мм:

$$. V_з=\frac{4}{3}\pi R^3+(\pi R^2 h)\cdot k=$$

$$=\frac{4}{3}\cdot 3,14\cdot 0,25^3+3,14159\cdot 0,25^2\cdot 0,12\cdot 0,5\cdot 1,2=$$

$$=0,0654+0,0141=0,0795 \text{ мм}^3.$$

Результат реболлинга показан на рис. 7.

Полученный шариковый вывод будет иметь форму шарового сегмента, основание которого – контактная площадка с диаметром 0,5 мм. Теперь попробуем пересчитать объем шарового сегмента. Введем обозначения, показанные на рис. 8.

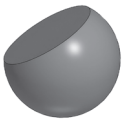
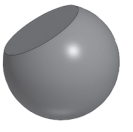
В данном случае для решения можно составить систему нелинейных уравнений с двумя неизвестными: R – радиус шара, сектор которого образуется на поверхности с радиусом сечения, равным радиусу контактной площадки $a=0,25$ мм (с учетом полной смачиваемости), и h – высота сектора, который и будет образовывать высоту вывода в конечном итоге. В первом уравнении выразим величину $R-h$ через гипотенузу прямоугольного треугольника. Второе уравнение – формула объема (V) шарового сегмента, выраженная через радиус шара R и высоту сегмента h. Таким образом, система уравнений будет выглядеть так:

$$\begin{cases} R^2=a^2+(R-h)^2, \\ V=\pi R2\left(R-\frac{h}{3}\right). \end{cases}$$

Решив эту систему линейных уравнений численным методом, получим значения h для указанных методов (табл. 1).

Вышеупомянутые образцы, где использовались различные методы восстановления шарика, были подготовлены

Таблица 1. Результаты расчета значений h

Метод	Расчетный объем, мм^3	Расчетное значение h, мм	Значение по спецификации, мм	Разница, мм (% от спецификации)	Теоретическая оценка формы вывода
«Паста»	0,0197	0,198	0,500	–0,328 (–60%)	
«Флюс-гель»	0,0654	0,378		–0,122 (–24%)	
«Заводской»	0,0795	0,419		–0,081 (–16%)	

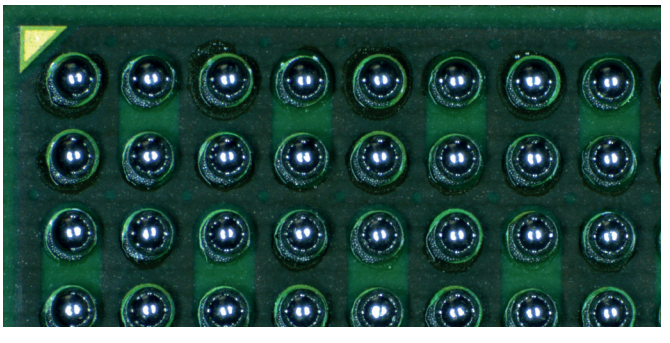


Рис. 7. Реболлинг по методу «Заводской»

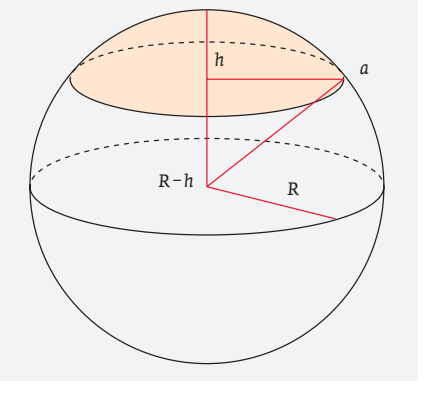


Рис. 8. Параметры вывода как шарового сегмента



Рис. 9. Оплавление образцов в одном цикле

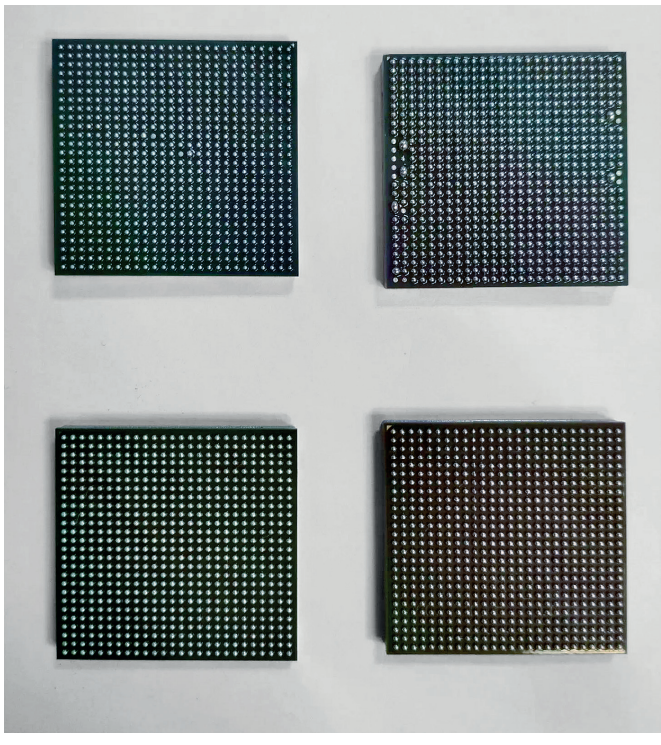


Рис. 10. Внешний вид образцов с разными методами реболлинга: верхний левый – метод «Паста»; верхний правый – метод «Флюс-гель»; нижние правый и левый – метод «Заводской»

и запаяны в одном цикле (рис. 9). Внешний вид образцов после оплавления представлен на рис. 10.

Даже при небольшом увеличении видно, что имеются дефекты в образцах, полученных по методам «Паста» и «Флюс-гель». Для метода «Паста» характерно, что в нескольких местах за счет поверхностного натяжения паста стеклась с соседних выводов в один большой шарик, образовав пустоту на контактной площадке рядом (рис. 11а). А в случае метода «Флюс-гель», помимо обильных остатков флюса, которые надо отмывать, образовалось большое количество слипшихся шаров из-за их нестабильного поведения на жидком флюсе (рис. 11б). В образце по методу «Заводской» достигнуто правильное расположение выводов и отсутствие дефектов (рис. 11в).

Для оценки соответствия результатов расчетной и экспериментальной части был сделан замер общей толщины компонента с помощью цифрового штангенциркуля. Результаты измерений представлены на рис. 12.

Нормативное поле допуска от производителя на общую толщину микросхемы составляет 3,17 ± 0,2 мм (от 2,97 до 3,37 мм). Сравнительные результаты по методам реболлинга представлены в табл. 2.

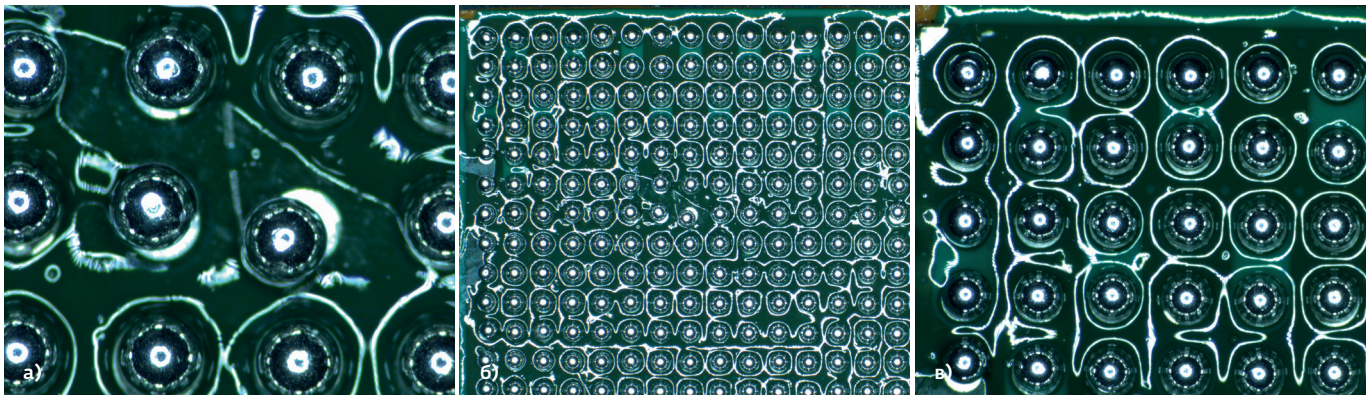


Рис. 11. Результаты реболлинга: а – метод «Паста»; б – метод «Флюс-гель»; в – метод «Заводской»

Р-ТехноГрупп

MAKE

надежный защитник вашей платы от влаги







1. Точная система нанесения
2. Гибкая конфигурация машин с разными инструментами нанесения
3. Наличие всей необходимой линейки оборудования для построения производственной линии одного бренда
4. Возможность нанесения покрытий, лаков и других адгезивов
5. Интуитивно понятное ПО с возможностью программирования через камеру
6. Оперативная техническая и технологическая поддержка в России



192029, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Качалова,
д. 7 лит. А, оф. 712

info@r-technogroup.ru
+ 7 (812) 507 88 87
www.r-technogroup.ru

Таблица 2. Сравнительные результаты по методам реболлинга

Метод	Расчетное значение высоты вывода h, мм	Разница от номинала для вывода, мм	Замер толщины микросхемы, мм	Разница от номинала по спецификации, мм	Оценка к полю допуска (отклонение от центрального значения)
«Паста»	0,198	–0,328 (–60%)	2,91	–0,26	Не в допуске (65%)
«Флюс-гель»	0,378	–0,122 (–24%)	3,07	–0,10	В допуске (25%)
«Заводской»	0,419	–0,081 (–16%)	3,10	–0,07	В допуске (17%)

Процентные отношения отклонений от номиналов для вывода и компонента в целом дают понимание того, что основная разница в размерах после реболлинга обусловлена именно размерами выводов. Из приведенных данных видно, что метод «Паста» ни при каких условиях не попадает в поле допуска. Что касается методов «Флюс-гель» и «Заводской», то, несмотря на близкие значения, видно, что метод с пастой и шариками дает результат ближе к оригинальному заводскому значению. Более того, метод с флюс-гелем и шариками приводит к дефектам при смещении шаров, а также к необходимости более тщательной отмывки остатков. Пример дефектов при методе с флюс-гелем показан на рис. 13.

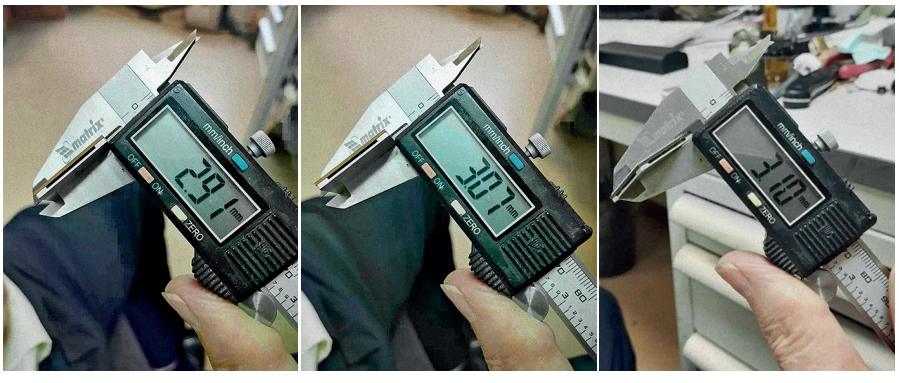


Рис. 12. Результаты замеров общей толщины микросхемы: слева-направо – «Паста», «Флюс-гель», «Заводской»

Чем больше разница от номинального значения заводского компонента, тем больше негативных последствий для электронного модуля в целом после его повторного монтажа:

- нарушаются тепловые режимы работы за счет уменьшенного воздушного зазора;
- возникают сложности при проведении тщательной отмывки и просушки компонента;
- уменьшенная длина вывода может сказаться на работе модуля на высоких и сверхвысоких частотах.

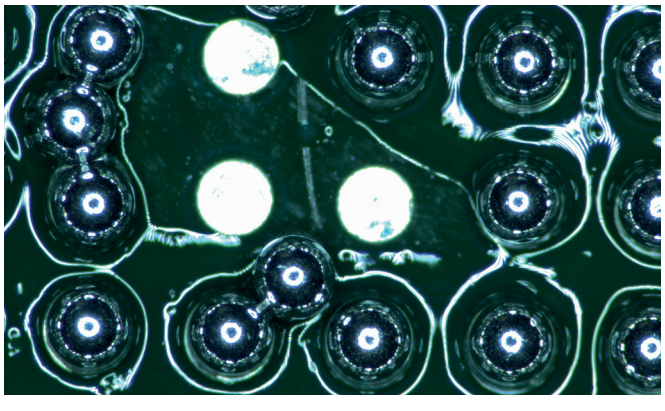


Рис. 13. Дефекты при методе с флюс-гелем

Таким образом, несмотря на широкое распространение реболлинга для ремонта BGA-компонентов, проводить его следует правильно, корректно выбрав метод, стремясь восстановить размеры компонента до его исходных оригинальных размеров. Необходимо контролировать размеры шариковых выводов с высокой точностью – на глаз это сделать невозможно. Следует учитывать, что некоторые последствия отклонения размеров компонента от оригинальных значений могут проявить себя только в период эксплуатации у заказчика. Поэтому для того, чтобы минимизировать риски отказов, нужно корректно применять технологию – только в этом случае будет гарантирована длительная работоспособность изделия.

ОРГАНИЗАТОР

РОСКОНГРЕСС

СФЕРА БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

СИСТЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ
РЕШЕНИЯ

21–23 ОКТЯБРЯ 2026
МОСКВА, ВДНХ

security-expo.ru