

Технология термозвуковой микросварки методом «шарик–клин–шарик» и контроль микросварных соединений

В данной статье описывается усовершенствование технологии термозвуковой микросварки, связанное с увеличением надежности одной из заключительных операций монтажа кристаллов и последующих контрольных операций.

Максим Шмаков

mxm-shmakov@yandex.ru

Валерий Паршин,
к. т. н.
Елена Теплякова

Термозвуковая микросварка (вместо введения)

В данном виде сварки применяется золотая проволока, а в качестве инструмента — капилляр. Соединение образуется в результате нагрева, компрессии и воздействия ультразвуковой энергии на соединяемые детали. Для формирования шарика на конце проволоки используется метод электрического разряда. Типовые параметры термозвуковой сварки [1]:

- нагрев рабочей области — от 100 до 150 °С;
- усилие прижима — 20–200 г;
- ультразвуковые колебания — 60 кГц с мощностью 1–2 Вт;
- время сварки — 20–200 мс.

Недостатки и проблемные места данной технологии

В результате испытаний микромодуля питания имел место периодический отказ изделия, причиной которого являлся отрыв вывода микросхемы от контактной площадки (КП) платы (паста 1140 на основе серебра) вследствие некачественного сварного соединения (рис. 1).

Причиной некачественного соединения является один из наиболее важных недостатков технологии термозвуковой микросварки методом «шарик–клин», вызванный тем, что в процессе второго соединения (перемычка — КП платы) «участвует» меньше поло-

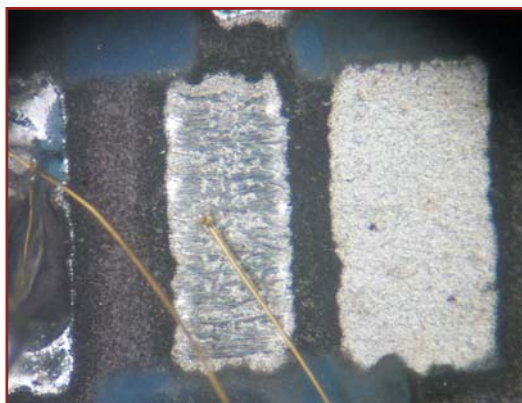


Рис. 1. Один из отказов при испытаниях на ШСВ, вызванный отрывом вывода микросхемы от КП платы

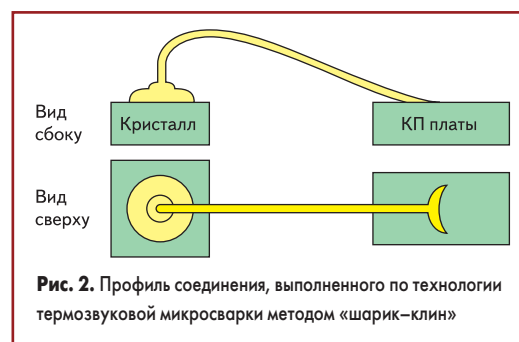


Рис. 2. Профиль соединения, выполненного по технологии термозвуковой микросварки методом «шарик–клин»

вины площади торца сварочного инструмента (рис. 2).

Решение проблемы

В мероприятиях по устранению данного дефекта одним из пунктов было предложено разработать и внедрить усовершенствованную технологию разварки методом «шарик–клин–шарик». Дополнительно предложено:

- 1) Увеличить угол внутреннего диаметра инструмента (с 90° на 120°) (рис. 3), что дает следующие положительные моменты:
 - уменьшение вероятности пережата проволоки;
 - больший отпечаток сварки (увеличивается в 1,5 раза).
- 2) Изменить конструкцию установки микросварки, путем ввода подогрева инструмента. Это позволит понизить температуру подогрева столика при сварке и уменьшить окисление серебра $[Ag_2 + 2O_2 \rightarrow (\uparrow T \text{ } ^\circ C) \rightarrow 2AgO_2]$.

Отличительной особенностью метода «шарик–клин–шарик» является «укрепление» 2-го соединения (перемычка — КП платы) «шариком», что дает увеличение прочности соединения (рис. 4).

Технологический процесс состоит из следующих операций:

- 005 Подготовительная.
- 010 Включение установки.
- 015 Проверка параметров (при необходимости).
- 020 Заправка золотой проволоки (при необходимости).
- 025 Создание пробных перемычек.

Примечание. Создание пробных перемычек производится каждую смену перед разваркой «боевых» плат на 2–3 образцах (технологических плат) из данной партии.

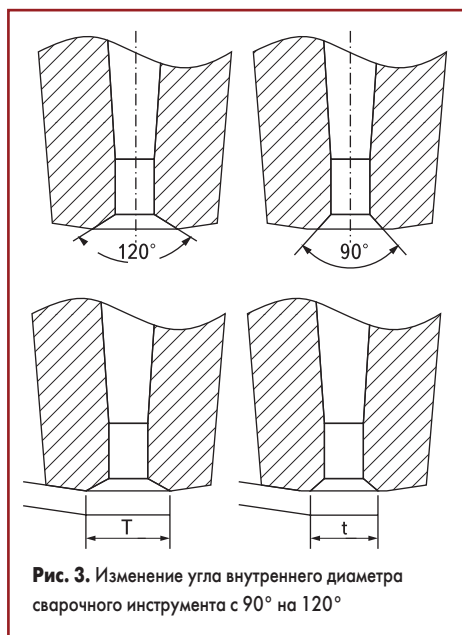


Рис. 3. Изменение угла внутреннего диаметра сварочного инструмента с 90° на 120°

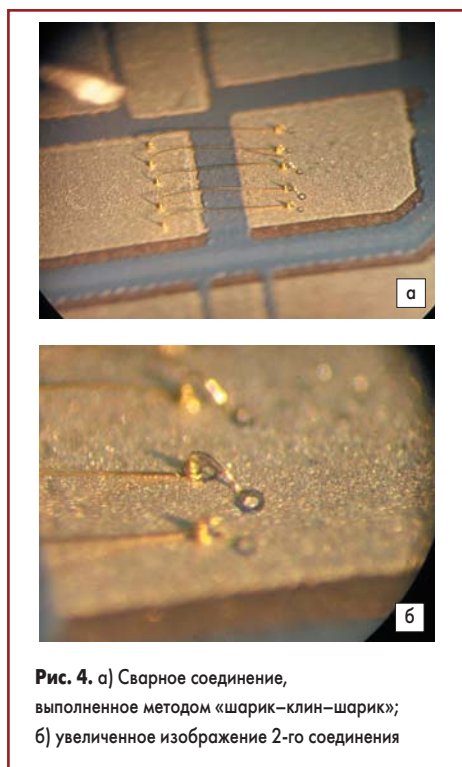


Рис. 4. а) Сварное соединение, выполненное методом «шарик-клин-шарик»; б) увеличенное изображение 2-го соединения

030 Контроль на свариваемость.
035 Создание перемычек.
040 Контроль (визуальный).

Необходимыми техническими требованиями для обеспечения качественной микросварки являются требования к условиям и срокам хранения плат между операциями (табл. 1).

Режимы работы генератора для 1-й и 2-й сварок приведены в таблице 2.

Примечания

- Если диаметр шарика менее 2 диаметров проволоки, то необходимо увеличить мощность или время основного сварочного импульса для 1-й сварки до получения оптимального отпечатка этой сварки.
- Если диаметр шарика более 4 диаметров проволоки, то необходимо уменьшить мощность или время основного сварочного импульса для 1-й сварки до получения оптимального отпечатка этой сварки.

Таблица 1. Условия и сроки хранения плат между операциями

Наименование операции	Присоединение выводов компонентов и перемычек к КП плат
Время межоперационного хранения	10 суток
Условия межоперационного хранения	Инертная среда: • Температура – 20–24 °С; • Аргон (Р = 1 МПа).
Допустимость и способы обработки по истечении срока хранения	Провести проверку привариваемости золотых проводников к КП платы

Таблица 2. Режимы работы генератора

Толщина проволоки	Режимы	
	1-я сварка	2-я сварка
30 мкм	T ≥ 35, N ≥ 60	T ≥ 60, N ≥ 80
50 мкм	T ≥ 40–50, N ≥ 150–160	T ≥ 80–90, N ≥ 200–210

Примечание.

T — длительность основного сварочного импульса;

N — мощность основного сварочного импульса

- Если линейный размер сварного соединения менее 1/2 диаметра проволоки, то необходимо увеличить мощность и время основного сварочного импульса для 2-й сварки до получения оптимального отпечатка этой сварки.
- Если линейный размер сварного соединения больше 3 диаметров проволоки или происходит прожигание КП платы, то необходимо уменьшить мощность и время основного сварочного импульса для 2-й сварки до получения оптимального отпечатка этой сварки.

Контрольные операции

Все способы контроля качества сварных соединений можно разбить на два основных вида [2]:

- неразрушающий;
- разрушающий.

В данной технологии используются оба вида контроля, а именно: контроль на свариваемость (операция 030) и визуальный (операция 040).

Контроль на свариваемость (ОСТ 11 073.013-83, метод 109-4)

При оптимизации процедуры сварки одним из исследуемых параметров является прочность проволоки на отрыв, которая измеряется в ходе проведения испытаний натяжением (приложение эталонного усилия в граммах путем натяжения проволоки с помощью крючка до ее разрыва или отрыва).

При тестировании волоочных соединений методом натяжения прочность на отрыв зависит от натяжного механизма, точки крепления крючка, разницы горизонтальных уровней свариваемых деталей и угла натяжения. Для получения абсолютных значений предела прочности на разрыв методика или средство тестирования должны быть нормированы. Когда проводятся испытания, важно определить место обрыва сварки: был ли это отрыв проволоки в месте сварки или ее разрыв (рис. 5).

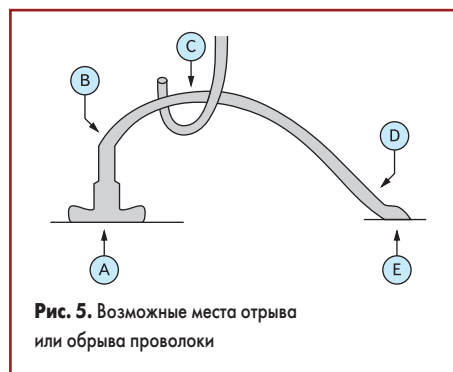


Рис. 5. Возможные места отрыва или обрыва проволоки

При выборе способа создания и отработки режимов сварки обычно добиваются такого положения, при котором разрушение соединения происходит в точках В или D. Если отрыв происходит в точках А, С, Е, то необходимо проверить параметры сварки, металлизацию, настройки оборудования, конструкцию сварочного инструмента или испытательного приспособления.

Обычно при испытании сварки на отрыв усилие измеряется в граммах. Измеренное значение не всегда является реальным пределом прочности. Для того чтобы вычислить реальное разрывное усилие, рассчитаны определенные коэффициенты, на которые умножают измеренное значение усилия. Значение данных коэффициентов и их зависимость от угла натяжения приведены в таблице 3 [1].

Таблица 3. Коэффициенты для вычисления реального разрывного усилия

Угол натяжения проволоки в точках сварки	Коэффициент
10	2,88
20	1,46
30	1,00
40	0,79
50	0,65
60	0,58
70	0,53

Визуальный контроль (ОСТ 11 073.013-83, метод 405-1.1)

Критерий отбраковки микросварных соединений приведен в таблице 4 [2].

Вместо заключения

Сварное соединение проверено на прочность по ОСТ 11 073.013-83 (метод 109-4 — проверка на свариваемость) с помощью граммометра. Прочность сварного соединения на отрыв составила:

- ~6 г (3 г по ОСТ 11 073.013-83) — для проволоки толщиной 30 мкм;
- >30 г (5 г по ОСТ 11 073.013-83) — для проволоки толщиной 50 мкм, что соответствует вышеуказанному стандарту.

В обоих случаях происходил обрыв проволоки в точке В (в соответствии с рис. 5), при этом наблюдалось отсутствие всякого рода трещин и отслоений сварных соединений (рис. 6).

Таблица 4. Критерий отбраковки микросварных соединений

Виды дефектов	Критерий отбраковки
1. Дефекты сварного соединения встык (шариком)	а) Диаметр сварного соединения на кристалле менее 2 диаметров или в 4 раза больше диаметра проволочного вывода. б) Следы предыдущей сварки на одной и той же КП (если не позволяет площадь КП).
2. Диаметры сварных соединений внахлест (клином)	а) Минимальный линейный размер сварного соединения менее 1/2 или более 3 диаметров проволоки. б) Следы предыдущей сварки на одной и той же КП (если не позволяет площадь КП подложки).
3. Дефекты внешнего вида сварки	Признаки перегрева в месте сварки – сварка пористая, тусклого цвета.
4. Дефекты проволочных выводов	а) Стрела прогиба проволоки, допускающая возможность касания с элементами конструкции (конкретная стрела прогиба указывается в КД). б) Неровности проволоки типа сгиба, бороздок, уменьшающие диаметр проволоки более чем на 1/4. в) Пересечение проволочных выводов. г) Расстояние между проволочными выводами менее 50 мкм. д) Обрыв проволочного вывода. е) Разводка проволочных выводов не соответствует КД.

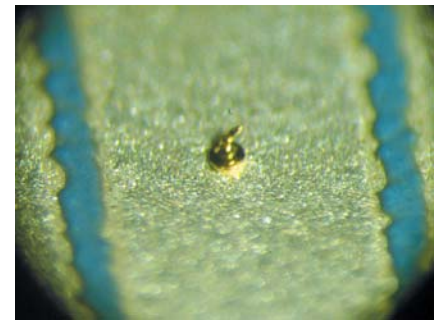
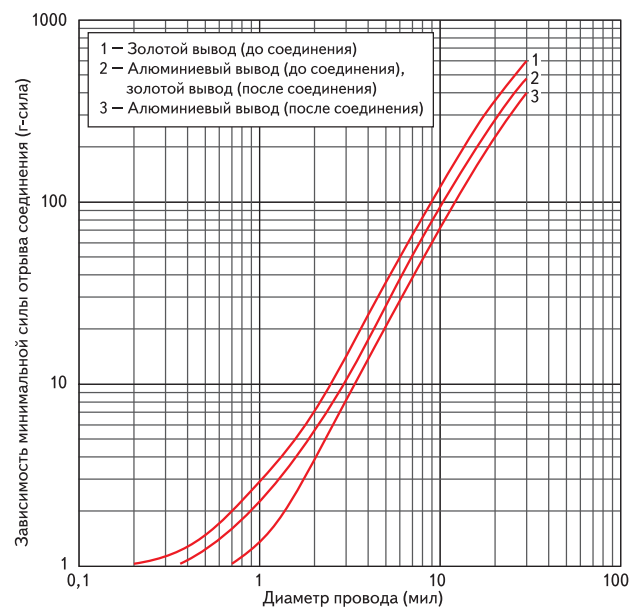
В стандарте MIL-STD-883 Metod 2011 (Bond Strength) приведены следующие параметры качества сварных соединений на разрыв (табл. 5, рис. 7).

Литература

1. Кудряшов И. Технология микросварки проволочных выводов // Производство электроники. 2007. № 5.
2. Шмаков М. В. Контроль качества сварных соединений при создании гибридных микросборок // Технологии приборостроения. 2006. № 4.
3. ОСТ 107.460091.004-88. Технология сборки микросборок. Общие требования.
4. ОСТ 11 073.013-83. Микросхемы интегральные. Методы испытаний.
5. MIL-STD-883 Metod 2011 (Bond Strength).

Таблица 5. Минимальная прочность соединения

Материал проводов	Диаметр проводов		Минимальная прочность соединения	
	дюйм	мм	До соединения	После соединения
Алюминий	0,0007	0,018	1,5	1,0
Золото	0,0007	0,018	2,0	1,5
Алюминий	0,0010	0,025	2,5	1,5
Золото	0,0010	0,025	3,0	2,5
Алюминий	0,0013	0,032	3,0	2,0
Золото	0,0013	0,032	4,0	3,0
Алюминий	0,0013	0,033	3,0	2,0
Золото	0,0013	0,033	4,0	3,0
Алюминий	0,0015	0,038	4,0	2,5
Золото	0,0015	0,038	5,0	4,0
Алюминий	0,0030	0,076	12,0	8,0
Золото	0,0030	0,076	15,0	12,0


Рис. 6. Результаты контроля на свариваемость

Рис. 7. Минимальные пределы сил тяги соединения