

# БЕСФЛЮСОВАЯ ЛОКАЛЬНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ПАЙКА В ЭЛЕКТРОНИКЕ

В.Ланин vlanin@bsuir.by  
Д.Бержанин

Ультразвуковая пайка и лужение – это эффективные экономичные промышленные технологии, позволяющие получать высококачественные соединения с труднопаяемыми металлами и сплавами (алюминием, титаном, нержавеющей сталью) и осуществлять лужение большинства материалов, применяемых в электронике: керамики, стекла, ферритов, полупроводников. Интерес к процессам бесфлюсовой ультразвуковой пайки и лужения деталей и выводов электронных компонентов вызван экологическими проблемами удаления флюсов, так как они обладают высокой коррозионной активностью и удаление их остатков требует дополнительных технологических процессов, которые приводят к загрязнению окружающей среды. Более того, бесфлюсовая пайка и лужение обуславливают высокую экономичность процессов – отсутствуют операции флюсования и очистки, не требуются затратные материалы.

Актуальность бесфлюсовой пайки в электронике обусловлена рядом причин:

- увеличение температуры пайки для бессвинцовых припоев затрудняет удаление остатков смолосодержащих флюсов [1];
- традиционные методы очистки хлорированными фторуглеродами и углеводородными растворителями ввиду их экологической опасности запрещены или строго ограничены;
- применение водосмываемых флюсов требует водных процессов очистки, что в результате загрязняет ресурсы питьевой воды.

Переход на бессвинцовые припои и применение технологии "чистой" пайки по экологическим соображениям приводит к проблеме выбора активирующего воздействия (метода пайки) при формировании контактных соединений в жидкой фазе. Поскольку остатки флюса после пайки сохраняют некоторый уровень коррозионной активности, их необходимо удалить, чтобы гарантировать требуемую надежность и срок службы изделий [2].

Альтернативной техникой пайки, заменяющей химическую активность флюса для удаления оксидов, является ультразвуковая (УЗ). УЗ-энергия

вызывает в жидком припое кавитацию, которая удаляет оксидный слой на поверхности основного металла. УЗ-активация успешно выполняет функцию удаления оксида флюсом, но она не может защитить очищенную поверхность до пайки, а также изменить поверхностное натяжение расплавленного припоя, чтобы увеличить его растекание и капиллярное проникновение [3].

Локальное введение УЗ-колебаний в ограниченную зону расплава припоя позволяет значительно повысить их интенсивность даже при небольшой мощности, потребляемой от источника, уменьшить окисление припоя в ванне, обеспечить возможность полной механизации процесса лужения за счет эффекта перемещения припоя под действием УЗ-колебаний [4].

УЗ-колебания вызывают модификацию структуры бессвинцовых припоев типа SAC (Sn-Ag-Cu), а это снижает до минимума вероятность образования интерметаллидов типа  $Ag_3Sn$  при формировании паяных соединений и повышает прочность соединений [5].

Для бесфлюсовой пайки деталей и электронных компонентов легкоплавкими припоями используют УЗ-ванны с возбуждением всей массы припоя и с локальным воздействием ультразвука.

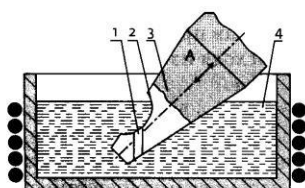
В первом случае можно активировать большую поверхность детали, а во втором – сконцентрировать УЗ-энергию в небольшом объеме, снизить окисление припоя в ванне и энергопотребление.

### УСТАНОВКИ ЛОКАЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ И ЛУЖЕНИЯ

В УЗ-ваннах с возбуждением всей массы расплава интенсивность кавитации максимальна на дне ванны и нелинейно уменьшается с увеличением расстояния до дна, что необходимо учитывать при пайке компонентов и деталей малых размеров. При локальной УЗ-активации в рабочей зоне наблюдается относительно однородная интенсивность кавитации.

Для УЗ-лужения алюминиевой проволоки "бесконечной" длины и арматуры из различных материалов толщиной до 1,5 мм разработано устройство лужения (рис.1), которое представляет собой конусный волновод – концентратор с коэффициентом усиления 2,5-3, соединенный с магнитострикционным преобразователем ПМС15А-18 [6]. При лужении провод протягивался через отверстие в волноводе, расположенное в области наибольших смещений, и канавку с припоем, которая образовывала микрованну.

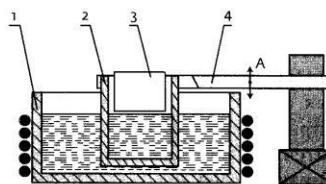
Применение в УЗ технологических установках пьезоэлектрических преобразователей, собран-



**Рис.1.** Устройство локального УЗ-лужения проволоки: 1 – отверстие; 2 – канавка; 3 – волновод; 4 – припой

ных в пакеты, позволяет получать более высокий КПД преобразования, который остается стабильным при рабочих температурах до 330°C и более, и повышать интенсивность УЗ-колебаний в рабочей зоне за счет применения фокусирующей формы преобразователей различных частот для активации процессов низкотемпературной пайки.

Активацию небольшого объема припоя в ванне (рис.2) осуществляют с помощью консольно закрепленной пластины, на свободном конце которой в отверстии установлена трубка, погруженная в припой [7]. Таким образом, продольные УЗ-колебания от пакетного пьезоэлектрическо-



**Рис.2.** Устройство локального УЗ-лужения: 1 – ванна; 2 – трубка; 3 – компонент; 4 – пластина

го преобразователя через волноводы и пластину преобразуются в поперечные колебания трубки, которая активирует локальный объем припоя в зоне лужения вывода электронного компонента.

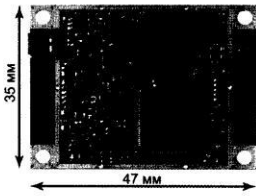
Для локального ввода колебаний в расплав припоя применяют акустические системы, состоящие из преобразователя, волновода и излучателя. Для создания в расплаве плоской волны размеры излучателя должны удовлетворять отношению:  $L_{изл.}/D < 1,5-1,8$ , где  $L_{изл.}$  – длина излучающей поверхности,  $D$  – диаметр волновода. Излучатель представляет собой пластину толщиной  $h$ , жест-

**МОСКОВСКИЙ РАДИОЗАВОД**  
**ОАО МРЗ "ТЕМП"**

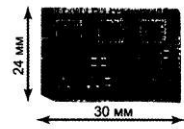
**ЦРЭТ** ЦЕНТР РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

**ТЕХНОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА**

- *техпереворужение предприятий с внедрением технологии внутреннего монтажа*
- *разработка и производство радиоэлектронной аппаратуры с использованием технологии внутреннего монтажа*
- *поставка полного комплекта технологического оборудования для поверхностного и внутреннего монтажа радиоэлектронных узлов*



GeoC-1: Совмещенный ГЛОНАСС/GPS-приемник, изготовленный по технологии поверхностного монтажа

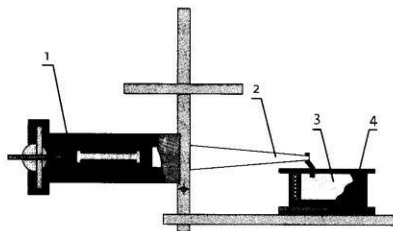


Приемник ГЛОНАСС/GPS, изготовленный по технологии внутреннего монтажа

115516 Москва, Кавказский бульвар, д.59 (495) 645-36-55, 8 (906) 062-28-29 E-mail: cret-vm@yandex.ru

ко связанную с торцом конического волновода и удовлетворяющую соотношению  $h/\lambda < 0,1-0,15$ , где  $\lambda$  – длина УЗ-волны. Излучатель в данном случае рассматривается как сосредоточенная масса. Деталь погружается в припой на расстояние 3–5 мм от поверхности излучателя (рис.3) [8].

При выборе УЗ-излучателя необходимо учитывать, что в ступенчатом концентраторе наблюдаются значительные напряжения в месте стыка ступеней, что может привести к разогреву и по-



**Рис.3.** Устройство локального УЗ-лужения:  
1 – преобразователь; 2 – волновод; 3 – расплав;  
4 – нагреватель

ломке. В экспоненциальном концентраторе напряжения ниже, однако для получения высокого коэффициента усиления в них необходимо иметь большое отношение площадей поперечного сечения основания и рабочего торца. Поэтому наиболее часто применяют конические концентраторы либо типа Фурье, которые имеют плавное изменение напряжений и сравнительно высокий коэффициент усиления.

Магнитострикционный преобразователь в герметичном кожухе крепится к акустическому трансформатору в узле колебаний и охлаждается проточной водой. С помощью держателя УЗ колебательная система перемещается вертикально по стойке, обеспечивая требуемую глубину погружения излучателя. Длина излучателя не должна превышать  $\lambda/8$ , что соответствует равномерному распределению амплитуд колебаний. В случае, когда размеры достигают  $\lambda/4$ , характер распределения амплитуд колебаний вдоль излучателя имеет вид стоячей волны с узлами и пучностями колебаний, что ухудшает качество лужения.

Таким образом, при расположении излучателя на глубине  $h$  в ванне с расплавленным припоем создается локальная зона интенсивной кавитации, в которой происходит лужение деталей.

По принципу локального ввода ультразвука выполнена УЗ-установка ИЛ100-3/4, предназначенная

для лужения материалов, которые трудно поддаются лужению известными способами: алюминия и его сплавов; титана и его сплавов; нержавеющей сталей различного состава, стекла и керамики и т.д. Установка комплектуется магнитострикционными преобразователями на основе никелевых, железокобальтовых, железоалюминиевых и других магнитострикционных сплавов [9].

При излучении УЗ-колебаний в жидкие среды энергетически выгодно использовать материалы с меньшей плотностью (алюминий, титан и др.). При продольных колебаниях излучателя УЗ-волна в расплаве затухает и в значительной мере проходит в поверхность обрабатываемой детали. Измерения УЗ-эффекта в паяльной ванне показали, что коэффициент пропускания УЗ в значительной мере зависит от длины излучающего волновода, химического состава припоя и расстояния между излучающим и принимающим волноводами, но не зависит от температуры расплава [10].

Разработанное устройство локального УЗ-лужения состоит из закрепленного на стойке магнитострикционного преобразователя, имеющего кожух для водяного охлаждения, ванны лужения, защитного кожуха и основания. Волновод магнитострикционного преобразователя имеет жестко закрепленный на нем излучатель в виде изогнутой пластины размером  $< L/8$ , где  $L$  – длина УЗ-волны в материале пластины. Излучатель погружен в расплав припоя на глубину  $h$ , которая выбирается, исходя из требуемых размеров зоны лужения деталей.

Ванна лужения объемом 400 см<sup>3</sup> выполнена из нержавеющей стали Х18Н9Т и имеет проводочный нагреватель, намотанный по наружной поверхности ванны, изолированный органосиликатным покрытием, нихромовым проводом диаметром 0,8 мм. Мощность нагревателя составляет 300 Вт. Для тепловой изоляции ванна лужения обмотана асбестовым шнуром диаметром 3 мм и помещена в защитный кожух из стали 40Х ГОСТ 4543-71. Контроль температуры расплава припоя осуществляется с помощью термомпары типа ХК и милливольтметра М 333К. Для питания УЗ-преобразователя использован генератор УЗГ2-1М с выходной мощностью 0,4 кВт, потребляемой мощностью 1,1 кВт и частотой колебаний 20–22 кГц.

Для регулировки и поддержания температуры припоя с точностью не хуже  $\pm 1,0^\circ\text{C}$  применен прибор Ш4501 с термомпарой ХК и силовым тиристорным ключом. Интенсивность кавитации оценивалась с помощью индикатора кавитации, датчик которого

размещался в ванне на определенном расстоянии от излучателя. Локальная система УЗ-лужения имеет линейную зависимость кавитационного давления от напряжения на выходе генератора.

### ИССЛЕДОВАНИЕ УЗ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОЙ ПАЙКИ

Одним из ключевых моментов в УЗ-пайке является трудность физического наблюдения и влияния на процесс пайки в момент его проведения. Попытки решить эту проблему предпринимались с самого момента создания технологии УЗ-пайки. Контроль обычно ограничивался визуальной проверкой, а прочность оценивалась разрушающим выборочным тестом на разрыв. Сегодня эти методы недостаточны. Оборудование должно гарантировать стабильное качество при максимальной производительности и по возможности быть адаптивным, чтобы отлаживать процесс без вмешательства оператора и самостоятельно накапливать информацию о работе в формате, удобном для последующего анализа.

Для моделирования УЗ колебательной системы пайки, имеющей сложную геометрическую

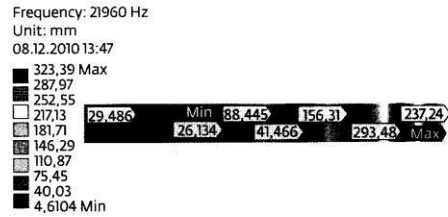


Рис.4. Распределение амплитуды колебаний вдоль УЗ-системы

кую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру, применен метод конечных элементов (МКЭ), который меняет задачу отыскания функции оптимизации на задачу определения конечного числа ее приближенных значений в отдельных точках-узлах. Для моделирования в пакете ANSYS построена геометрическая модель УЗ-преобразователя, которая имеет магнетострикционный преобразователь из пермендюра марки К49Ф2; акустический трансформатор, служащий для согласования элементов системы и ее

- Жидкокристаллические индикаторы
- Контрактная сборка
- Импульсные источники питания
- Изготовление печатных плат



ТЕХНОЛОГИИ УСПЕХА

Москва, Андроновское шоссе, 26  
 тел./факс: (495) 662-44-14  
 E-mail: sales@melt.com.ru  
 http://www.melt.com.ru

---


TFT Индикаторы





- Образцы на складе
- Диагонали от 1,8" до 4,3"
- Гибкие цены
- Быстрое изготовление


Импульсные Источники Питания

Источники тока для питания светодиодов



**выходная мощность до 130 Ватт**

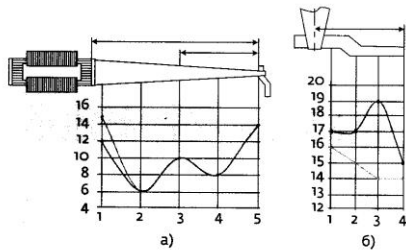
Сетевые адаптеры



**выходная мощность до 45 Ватт**

выходное напряжение: 5V, 12V, 5V

**Вольт**



**Рис.5.** Распределение амплитуды УЗ-колебаний в системе: а – волновод, б – излучатель

крепления в узле колебаний; волновод-концентратор и излучатель, который погружается в расплав припоя.

Для проведения модального анализа в комплексе ANSYS для каждого материала должны быть заданы значения модуля Юнга, коэффициент Пуассона и значение плотности (см. таблицу).

Параметры материалов элементов УЗ-системы

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Сталь 45	210	0,3	7800
Пермэндюр К49Ф2	218	0,33	8100

При анализе выявлено пять резонансов при задании начальных условий воздействия колебаний частотой 18–30 кГц. Наиболее предпочтительной для процесса УЗ-пайки является частота 21,960 кГц ввиду того, что в системе наблюдаются продольные волны с максимумом амплитуды колебаний на излучателе УЗ-системы (рис.4). Во всех остальных случаях преобладают аксиальные типы волн со смещенным по УЗ-системе максимумом амплитуды. Важной характеристикой УЗ-системы является коэффициент усиления колебаний:

$$K_u = \frac{A_{\text{изл}}}{A_{\text{преобр}}} = \frac{323,4}{75,5} = 4,3$$

Полученный коэффициент усиления позволяет технически реализовать операции пайки и лужения.

Реальная амплитуда УЗ-вибрации зависит как от частоты, так и от амплитуды электрического сигнала. На резонансной частоте преобразо-

вателя 21,9 кГц и при напряжении на выходе УЗ-генератора 120 В амплитуда вибраций волновода составляла 19 мкм, а излучателя – 12 мкм (рис.5). Оптимальные параметры процесса лужения: частота УЗ-колебаний 22±1 кГц, выходное напряжение генератора 100–120 В, что соответствует амплитуде УЗ-вибраций 15–20 мкм, температура нагрева 250±5°С.

\*\*\*

В заключение можно сказать, что бесфлюсовая ультразвуковая пайка является экологически чистым процессом и более экономична, поскольку такие операции, как флюсование и очистка, требующие затрат времени и материалов, исключаются. При локальном вводе УЗ-колебаний в расплав появляется возможность сконцентрировать УЗ-энергию в небольшом объеме и снизить окисление припоя в ванне. УЗ-колебания, параллельные обрабатываемой поверхности, предпочтительны для повышения прочности паяных соединений, обеспечения высокой стабильности процессов и уменьшения механического воздействия на обрабатываемые изделия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lead-Free Soldering in Electronics / Ed. By K. Sukanuma. N.Y.: Marcel Dekker, 2004.
2. Wassink K.R.J. Soldering in Electronics. Ayr, Scotland, Electrochem. Publ, 2002.
3. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники/С.П.Кундас, В.Л.Ланин, М.Д.Тявловский, А.П.Достанко. – Минск: Бест-принт. 2002.
4. Ланин В.Л. Бесфлюсовая ультразвуковая пайка в электронике. – Технологии в электронной промышленности, 2007, № 4, с.23–27.
5. Evolution of the Microstructure of Sn-Ag-Cu Solder Joints exposed to Ultrasonic Waves during Solidification/ R.K.Chinman, C.Fauteux, J.Neuenschwander, J.Janczar- Rusch. – Microelectronics Reliability, 2008, vol.48, № 1, p.1–16.
6. Берест Н.Н. Универсальное устройство для ультразвукового лужения. – Технология и организация производства, 1985, вып.4, с.54.
7. Пат. 53-30655 (Япония). Устройство для ультразвуковой пайки. Опубл. 02.10.1979.
8. Пат. № 2022734 (Россия). Устройство ультразвукового лужения изделий. Опубл. 15.11.1994.
9. www.utinlab.ru. Ультразвуковая техника-ИНЛАБ.
10. Lystrup A. Measurement of the Ultrasonic Effects in an Ultrasonic Solder Bath. – Welding Journal, 1976, vol.55, №10, p.309–313.