

БЕССВИНЦОВЫЕ ПРИПОИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ ПРИ МОНТАЖЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Паяные электрические соединения широко применяются в электронных модулях благодаря: низкому и стабильному электрическому сопротивлению, широкой номенклатуре соединяемых металлов, легкости автоматизации, контроля и ремонта. Директивы RoHS и WEEE ограничивают производство, распространение и утилизацию любых электроприборов, включающих свинец содержащие припои. Переход к бессвинцовым припоям поставил задачу повышения электрофизических и прочностных характеристик паяных соединений.

Наиболее приемлемым и распространенным бессвинцовым сплавом является эвтектический сплав $\text{Sn}_{95,5}\text{Ag}_{3,8}\text{Cu}_{0,7}$ (SAC4), который имеет более низкую температуру плавления, высокую надежность паяных соединений и обладает наилучшей паяемостью среди всех бессвинцовых сплавов. Добавление меди снижает температуру плавления (217°C), повышает смачиваемость, а также прочность паяного соединения.

Главное отличие бессвинцовых технологических процессов пайки электронных модулей – это повышение температуры нагрева зоны соединений на $30\text{--}40^\circ\text{C}$, в связи с чем могут измениться такие свойства паст, как срок службы и хранения, текучесть, что потребует изменения конструкции ракеля и режимов оплавления.

Ультразвуковая (УЗ) пайка – это технология бесфлюсовой пайки, не требующая никаких химических веществ и использующая энергию ультразвука для соединения таких материалов, как стекло, керамика, композиционные материалы. Поскольку возобновляемые источники энергии широко используются во всем мире, то потребность в процессах закрепления электродов к алюминированным панелям солнечных батарей методом УЗ пайки возрастает [1]. Производство солнечных батарей включает в себя ряд технологических операций: пайка фотоэлектрических преобразователей в соответствие с заданной схемой электрической коммутации, герметизация в ламинат, монтаж рамы и соединительной коробки, тестирование. Локальные тепловые эффекты при УЗ пайке создают условия для образования химических связей между компонентами на межфазной границе [2].

Бессвинцовые припои, применяемые в настоящее время для формирования контактных соединений в электронике, имеют худшую смачиваемость, чем эвтектические оловянно-свинцовые, и потому не заполняют необходимую площадь в зоне соединения [3]. Поэтому ак-

туальна проблема разработки процесса бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов с использованием припоев на основе олова с содержанием диффузионно-активных металлов.

При воздействии УЗ колебаний в расплавах металлов происходит интенсификация процесса диффузии в жидком состоянии, что связано с изменением коэффициента диффузии, вязкости среды. Воздействуя мощным УЗ полем на расплав, можно уменьшить энергию активации, а, следовательно, увеличить коэффициент диффузии и активировать процесс зародышеобразования [4]:

$$D' = D_0 e^{-\frac{E-\Delta E}{R \cdot T}}, \quad (1)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель; E – энергия активации диффузии; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура, К, ΔE – изменение энергии активации диффузии в УЗ поле.

Если вводимая УЗ энергия в расплав без учета потерь активировывает процесс диффузии, то

$$\Delta E = 0,5M(A\omega)^2, \quad (2)$$

где M – молярная масса, A – амплитуда колебаний, ω – частота колебаний.

Глубина диффузии может быть определена как [5]:

$$d = \sqrt{D \cdot t}, \quad (3)$$

где t – время диффузии.

Поскольку в расплавах действуют только продольные УЗ волны, то к потоку диффузии добавится поток частиц, движущихся под действием силы УЗ поля F , и тогда полный поток будет равен:

$$J = -D' \frac{\partial C}{\partial x} + U \cdot C_1 \cos \beta, \quad (4)$$

где C_1 – концентрация частиц, β – угол между векторами УЗ поля и диффузионного потока, U – скорость частиц.

Из уравнения (4) следует, что активация процессов формирования соединений энергией УЗ поля увеличивает скорость и глубину диффузии. Это приводит к увеличению переходной зоны на границе припой – материалы и к образованию химических соединений между компонентами припоя и материалами, что увеличивает механическую прочность, повышает качество паяных соединений.

Моделировалось влияние УЗ на глубину диффузии Zn из припоя Sn-Zn в поверхность алюминиевого сплава АМц при следующих условиях: амплитуда УЗ колебаний 10 – 20 мкм; площадь контактирования 50 мм²; частота УЗ колебаний 44 кГц; температура 250°С; предэкспоненциальный множитель цинка 0,5 см²/с; энергия активации диффузии Zn 23 ккал/моль; изменение энергии активации диффузии в УЗ поле 1.5

ккал/моль; концентрация Zn в расплаве-20%; время диффузии 5 - 20 с; углы α и β близки к нулю.

Зависимости глубины диффузии цинка в мкм от времени пайки показаны на рисунке 1. Результаты моделирования показали, что УЗ активация увеличивает глубину диффундирующего элемента Zn на 20% при $A = 10$ мкм и на 50% при $A = 20$ мкм.

Исследовались припои на основе олова, содержащие металлы средней химической активности: Zn (Sn-10Zn), Zn и Cd (Sn-20Zn-10Cd). На рисунке 2 показана схема исследования процесса УЗ пайки и зависимости прочности соединений от температуры пайки и типа применяемого припоя.

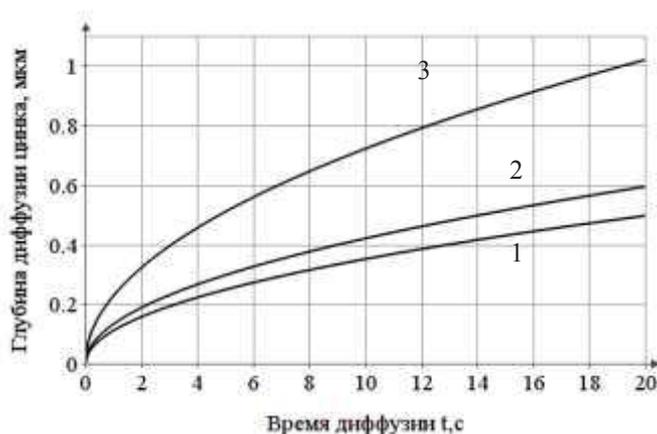


Рисунок 1 – Зависимости глубины диффузии цинка от времени пайки: 1 – без УЗ; 2 – с УЗ колебаниями 10 мкм и 3 – 20 мкм

Образцы для испытания на прочность представляли пластины из алюминиевого сплава АМц толщиной 0,5 мм. Процесс пайки вели с применением УЗ колебаний частотой 44 ± 1 кГц и амплитудой 10–15 мкм. Прочность паяных соединений образцов проверяли методом нормального разрыва на разрывной машине НТЦ 13.04.05.

По результатам исследований установлено, с увеличением температуры прочность соединений УЗ пайки достигает определенного максимума в зависимости от состава припоя. Воздействие УЗ активизирует диффузию реакционно-активных компонентов в зоне пайки и повышает тем самым прочность соединений, получаемых без применения флюса.

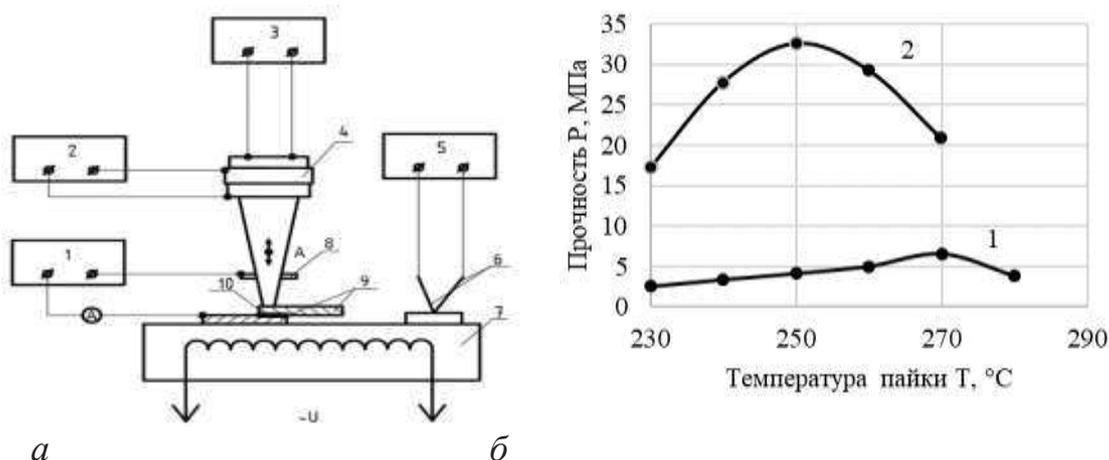


Рисунок 2 – Схема исследования УЗ пайки (а):

1 – источник тока; 2 – УЗ генератор; 3 - измеритель вибраций; 4 – УЗ паяльник; 5 – измеритель температуры; 6 – термопара; 7 – плита; 8 – зажим; 9 – детали; 10 – припой,

зависимости прочности соединений от температуры пайки (б):

1 – Sn-10Zn; 2 – Sn-20Zn-10Cd

Прочность соединения для припоя системы Sn-20Zn-10Cd в 5–6 раз выше, чем для припоя Sn-10Zn, поэтому для УЗ пайки рекомендуются припои, содержащие как минимум два металла средней химической активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ультразвуковая пайка – [Интернет-ресурс]: <https://www.japanunix.com/en/method/ultrasonic/>.
2. Jacobson, D.M. Fluxless Soldering / D.M. Jacobson, G. Humpston // Int. Materials Reviews, 2006, vol. 51, No 5.– P. 313–328
3. Новоттник, М. Паяемость бессвинцовых припоев / М. Новоттник, А. Новиков // Технологии в электронной промышленности, 2006, № 6. – С. 61–63.
4. Шиляев, А.С. Ультразвуковая обработка расплавов при производстве и восстановлении деталей машин / А.С. Шиляев – Минск.: Наука и техника, 1992. – 176 с.
5. Diffusion Behavior of Zn during Reflow of Sn-9Zn Solder on Ni/Cu Substrate / J. Mittal [et al.] // Journal of Electronic Materials, 2009.vol. 38, No. 12.– P. 2436–2442.