



ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЙ ТЕПЛОСТОЙКИЙ ПРИПОЙ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ

В. Ф. ХОРУНОВ, д-р техн. наук, О. М. САБАДАШ, инж., С. В. МАКСИМОВА, канд. техн. наук,
Б. В. СТЕФАНИВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изучены методы получения, свойства и микроструктура дисперсно-упрочненного припоя Sn–39Pb. Определена кратковременная прочность паяных соединений, выполненных дисперсно-упрочненным припоем, в зависимости от количества упрочняющей фазы.

Ключевые слова: низкотемпературная пайка, паяные соединения, кратковременная прочность, дисперсная упрочняющая фаза, микроструктура, композиционный припой, медь

Современные электронные узлы должны надежно работать при высоких термических нагрузках — до 120...150 °С. Для этого необходимо получить в зоне соединения определенную структуру, обеспечивающую прочность при рабочей температуре. При этом для хорошего формирования паяных соединений припой не должен иметь чрезмерно высокую температуру плавления.

Повысить термическую прочность паяных соединений можно различными способами: проводить обработку паяных соединений при повышенной температуре, получая за счет диффузии «растворный» шов [1]; применять припой с частично испаряющимися при пайке компонентами-депрессантами [2]; обеспечивать условия, при которых депрессанты могли бы связываться в устойчивые химические соединения [3] с целью повышения температуры пайки соединения.

Требуемая термическая прочность паяных соединений также может быть достигнута за счет новых припойных материалов, которые в отличие от применяемых припоев состоят из металлической матрицы (собственно припоя) и упрочняющих частиц (тонкодисперсных частиц из металлов, неметаллов, химических соединений).

Установлено [4], что если ввести в припой системы Sn–Pb с массовой долей олова 40, 63 и 90 % никель с чистотой 99, 94 в виде порошка в количестве 1, 3, 5, 10 и 15 %, то сопротивление срезу соединений, паянных припоем Sn–27Pb–10Ni, возрастает в 1,5 раза (45 МПа) по сравнению с соединениями, паянными припоями, не содержащими никель. Заметное увеличение прочности паяных соединений при нормальной температуре наблюдается при введении в оловянно-свинцовый припой более 5 % Ni.

Упрочненные паяные соединения получали в процессе пайки эвтектическим припоем Sn–39Pb за счет применения флюса, который содержал 20...80 % медного порошка в виде тонких частиц размером менее 44 мкм [5]. Флюс перед пайкой наносился на паяемую поверхность деталей, после расплавления припоя жидкий расплав растекался, смачивал частицы упрочняющей фазы, образуя таким образом композиционное паяное соединение. Разрушение соединений, паянных припоем с 66 % медного порошка, происходило при заданной нагрузке (5 МПа) в течение 4,0 тыс. ч, тогда как соединения, паянные припоем Sn–50Pb, при той же нагрузке, разрушались через 1,5 тыс. ч.

Таким образом, введение компонентов (частиц), имеющих градиент химического потенциала относительно матричного сплава, позволяет решить комплекс специальных задач — улучшить электропроводность, повысить прочность, достигнуть необходимой коррозионной или радиационной стойкости и т. п.

Упрочнение возникает при введении в матричный сплав тонкодисперсных частиц определенной химической природы. Кроме того, следует учитывать, что для сохранения технологических свойств припоя количество частиц упрочняющей фазы должно быть относительно малым. Для повышения термостойкости эвтектического припоя Sn–39Pb предложены два механизма упрочнения: дисперсионного твердения и дисперсного

упрочнения. Во втором случае значительно возрастает потенциальная возможность использования отдельных элементов и интерметаллидных соединений для образования мелкодисперсных фаз в матричном сплаве. Форма, дисперсность и относительное расположение упрочняющей фазы зависит от многих факторов, связанных с химическим составом расплава и условиями кристаллизации.

В соответствии с выбранным направлением исследования необходимо определить способы металлургического растворения и распределения в металлической матрице эвтектического припоя (Sn–39Pb) упрочняющих частиц из интерметаллида Ni₃Sn₄, а также характеристики кратковременной прочности соединений из меди, паянных разрабатываемыми припоями при комнатной и повышенной (120 °С) температуре.

Для определения оптимального способа введения упрочняющих частиц в матрицу низкотемпературных эвтектических припоев были опробованы два способа выплавки на высокочастотной установке ВЧГ1/0,066 мощностью 60 кВ·А с рабочей частотой 66 кГц (под флюсом ПВ209):

введение твердых упрочняющих частиц размером менее 10 мкм в матричный расплав в диапазоне 600...750 °С при выплавке припоя в графитовом тигле и электромагнитном перемешивании (система твердые упрочняющие частицы–расплав эвтектического припоя);

введение упрочняющих частиц при слиянии двух жидких расплавов при температуре выше температуры ликвидуса материалов упрочняющих частиц (система расплав упрочняющих частиц–расплав эвтектического припоя).

Образцы из припоев вырезали механическим способом, затем подвергали зачистке, полировке с применением абразивных паст, промывке в ацетоне и этиловом спирте, сушке и травлению для выявления тонкой структуры.

Металлографические исследования исходных сплавов системы Sn–Pb проводили с помощью оптической растровой электронной микроскопии (оптический микроскоп «Неофот-8» и сканирующий электронный микроскоп ISM-840).

Использовали стыковые образцы из меди марки М1 (99,9 % Cu), паянные проводом ПЭТВ-2 и покрытые двойным слоем термостойкого лака диаметром 1,8 мм и длиной 80 мм. Пайку стыковых образцов из меди проводили с помощью специального устройства (рис. 1). Заготовки из меди для одновременной пайки трех образцов располагали на нагревательной плите соответствующих размеров из материала с высокой теплоемкостью и температуропроводностью (алюминия), не смачиваемого припоем при температуре пайки. Температуру нагрева плиты под-

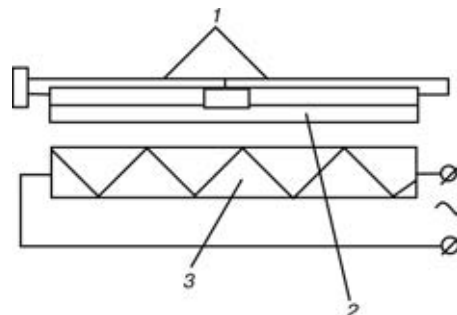


Рис. 1. Схема устройства для пайки образцов: 1 — стыковые образцы из меди; 2 — плита из алюминия; 3 — нагреватель

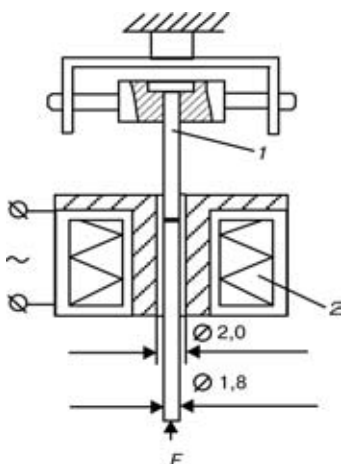


Рис. 2. Схема нагружения паяных соединений: 1 — образцы стыкового соединения; 2 — нагреватель

держивали постоянной (230 ± 3) °С. Время нагрева образцов до температуры пайки было установлено экспериментально — 60 с. На заготовку припоя флюс (ортофосфорная кислота) наносили путем окунания, а затем припой вручную вводили в паяльный зазор, который составлял 0,1...0,3 мм. Время пайки с момента заполнения припоем паяльного зазора составляло не более 5 с. Затем образцы в зоне пайки охлаждали водно-спиртовым раствором.

Паяные образцы после визуального контроля подвергали испытаниям на растяжение (рис. 2) на испытательной машине РМУ-0,05 (максимальное усилие на разрыв 500 Н). Скорость приложения нагрузки при всех видах испытаний была равна 1 мм/мин. Значения прочности паяного соединения при испытании на разрыв определяли по результатам испытаний шести образцов. Температура испытаний для оловянно-свинцовых припоев составляла 120 °С.

Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что микроструктура матричного сплава Sn-Pb представляет собой твердый раствор на основе олова и свинца.

При использовании первого способа выплавки сплавов, при котором твердые мелкодисперсные частицы добавляются в жидкий расплав, поставленная цель достигнута не была. Частицы распределялись неравномерно и создавали грубые конгломераты. Благодаря второму способу удается достичь однородного распределения упрочняющей фазы — дисперсных частиц интерметаллида Ni_3Sn_4 .

Результаты сравнительных испытаний кратковременной прочности соединений из меди, паянных припоями ПОС-61 и опытными, представлены на рис. 3. На основании полученных данных можно сделать вывод, что разработанный компози-

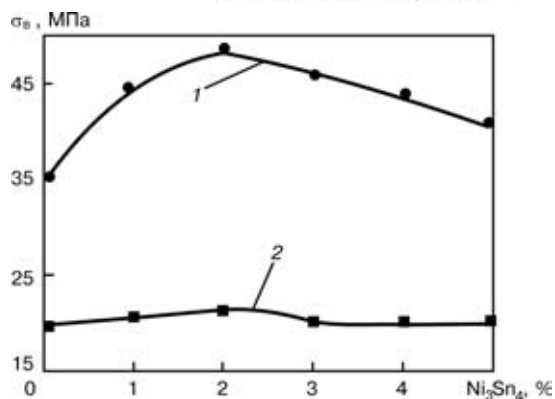


Рис. 3. Кратковременная прочность σ_b паяных соединений при различной температуре испытаний: 1 — 120; 2 — 20 °С

ционный припой позволил не только получить необходимую прочность паяных соединений при температуре 120 °С, но и несколько увеличить ее при комнатной температуре. Наибольшее повышение прочности при 120 °С наблюдалось у соединений, паянных припоями, содержащими 2 % упрочняющих частиц интерметаллида Ni_3Sn_4 . Дальнейшее повышение содержания упрочняющих частиц интерметаллида нежелательно, поскольку происходит заметное снижение прочности паяных соединений.

Выводы

1. Определен перспективный способ получения низкотемпературных композиционных припоев с достаточно равномерным распределением мелкодисперсной интерметаллидной фазы в матрице.

2. Установлено, что использование композиционного припоя Sn-39Pb с 2 % упрочняющих интерметаллидных частиц позволяет получить необходимую прочность паяных соединений при 120 °С.

1. Schweward G. E., Adam R. Research on re-melt temperature in any system of filler metals utilizing in industry // First intern. conf. on brazing and soldering, London, 1972. — London: Brit. Assoc. Braz. and Sold., 1972. — P. 11-20.
2. Breds H. Development the partially volatile brazing filler metals // Welding J. — 1964. — 43, № 2. — P. 63-65.
3. Кавакацу И. Развитие разработок припоев и технологии пайки // Kinzoku. — 43, № 5. — С. 60-64.
4. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Пайка металлов. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
5. Pat. 3488071 USA. Reinforced soft solder joints / B. Raynes, P. Pike, M. Pescatrice. — Publ. 06.01.70.

Methods for production, properties and microstructure of dispersion-strengthened brazing filler alloy Sn-39Pb have been studied. Short-term strength of the brazed joints made using the dispersion-strengthened filler alloy, depending upon the content of the strengthening phase, has been determined

Поступила в редакцию 04.07.2002