

Стандарт IEC-PAS 62137-3.

Технология электронного монтажа — методы тестирования надежности паяных соединений. Часть 1

Технический комитет ТК-91 Международной электротехнической комиссии (МЭК) предложил для пробного использования очередной стандарт PAS [1]. Документ IEC-PAS 62137-3 очень важен для современных условий российского производства электроники, ищущего приемы использования компонентов для бессвинцовой пайки оловянно-свинцовыми припоями (по совмещенной технологии). По существу, предлагаемый стандарт — программа испытаний, признанная на международном уровне, — может быть полностью заимствована для исследований совмещенных технологий монтажа электронных изделий. Стандарт IEC-PAS 62137-3 приводится в сокращенном виде. Но и при этом редакция вынуждена публиковать его в двух частях. В этом номере — часть первая.

Сергей Арсентьев

Введение

В течение долгого времени для внутренних и внешних электрических соединений использовали эвтектический сплав олово-свинец из-за его доступной стоимости и характеристик. В последнее же время с целью снизить уровень загрязнения окружающей среды различные организации стали разрабатывать бессвинцовые виды припоя, и уже многие предприятия используют их в производстве. Исследования показали, что надежность бессвинцовых паяных соединений несколько отличается от тех, что содержат свинец. В настоящее время Японская ассоциация электроники и информационных технологий (JEITA) исследует методы тестирования соединений на бессвинцовых видах припоя. Ни один из предлагаемых методов нельзя применять сразу ко всем видам и типам электронных компонентов. Метод тестирования выбирают в соответствии с размером, формой и типом выводов компонента. Предлагаемая группа стандартов позволит обеспечить производство методиками тестирования для повышения качества продукции.

Общие условия в различных методах тестирования

Используемые компоненты и материалы монтажа

Припой

Так как состав бессвинцового припоя пока точно не определен, при отсутствии указаний в спецификации на изделие рекомендуется использовать разновидность его состава из таблицы 1.

Тестируемые печатные платы (ПП)

Обычно для тестирования берут ПП, изготовленные из фольгированного медью стеклоэпоксидного материала (в соответствии с IEC 61249-2-7). При испытании плат с другими материалами оснований рекомендуется брать ПП с меньшей приверженностью

Таблица 1. Составы различных припоев

Сплав припоя	Композиция припоя (состав)	
Sn-Ag-Cu	Sn96,5Ag3Cu,5(A30C5)	—
Sn-Zn	Sn91Zn9(Z90)	Sn89Zn8Bi3(Z80B30)
Sn-Bi	Bi58Sn42(B580)	—
Sn-In	Sn88In8Ag3,5Bi0,5(N80A35B5)	—
Sn-Cu	Sn99,3Cu0,7(C7)	—

к термическому разрушению, механической деформации и поломкам платы.

Тестирование на монотонный изгиб, многократный изгиб и многократный удар не проводят для образцов с основаниями из негнущихся материалов, таких как керамика.

Другие условия тестирования указаны для соответствующих методов отдельно.

Монтаж компонентов на плату

Образец монтажа компонента на плату показан далее.

Поверхностно монтируемые устройства и компоненты (SMD) тестируют смонтированными на односторонней плате или на одной из сторон двусторонней платы.

Испытание компонентов со штыревыми выводами проводят при их монтаже на одной стороне платы. Испытание прочности монтажа с обеих сторон платы компонентов со штыревыми выводами не проводят, поскольку надежность паяных соединений в таких случаях превосходит прочность самих выводов.

Позиционирование компонентов и цоколевка

Для испытаний надежности монтажа монотонным и многократным сгибом ПП, а также многократным ударом тестируемый компонент устанавливают по середине платы (рис. 1). Положение элемента на плате для других видов тестирования может быть изменено по усмотрению заказчика или производителя. При отсутствии особых требований к цоколевке для



Рис. 1. Образец позиции установки компонента для испытаний монотонным изгибом, многократным изгибом и многократным ударом

изделия ее определяют в соответствии с серией стандартов IEC 61188-5.

Условия пайки

Чтобы обеспечить формирование прочных галтелей припоя, необходимо соблюдать требуемые условия пайки, показанные в таблицах 2, 3. На рис. 2, 3 показаны температурные профили для пайки оплавлением и волной припоя.



Рис. 2. Температурный профиль пайки оплавлением

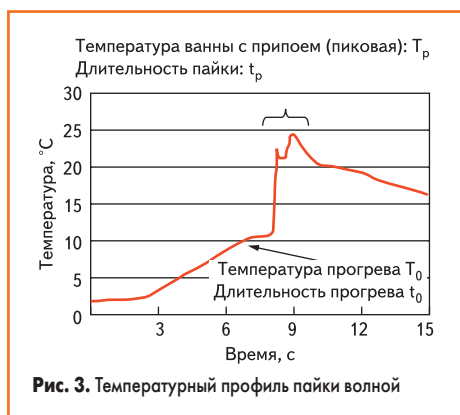


Рис. 3. Температурный профиль пайки волной

Прочие условия

Указаны в описании соответствующих методов тестирования.

Ускоренное тестирование прочности

Тестирование на устойчивость к термоциклированию (применимо ко всем указанным видам припоя)

Резкое изменение температуры (по IEC 60068-2-14 — температурные тесты) применяют в тестировании надежности соединений на отрыв, сдвиг, кручение и монотонный сгиб для SMD и на отрыв для штыревых компонентов. Температурные условия необходимо выбирать таким образом, чтобы паяное соединение получало минимальную нагрузку. Это за-

Таблица 2. Режимы пайки поверхностно монтируемых компонентов

		Состав припоя			
		Sn96,5Ag3Cu0,5	Sn91Zn9*, Sn89Zn8Bi3	Bi58Sn42	Sn88In8Ag3,5Bi0,5
T ₁	Минимальная температура прогрева, °C	150	130	100	140
T ₂	Максимальная температура прогрева, °C	180	150	120	160
T ₃	Температура пайки, °C	220	200	150	206
T ₄	Пиковая температура, °C	250 ± 5	220 ± 5	190 ± 5	220 ± 5
t ₁	Длительность прогрева, с	90 ± 30	90 ± 30	90 ± 30	90 ± 30
t ₂	Длительность пайки, с	20–60	20–60	20–60	20–60

*Примечание: Sn91Zn9 рекомендован для мягких условий пайки

Таблица 3. Режимы пайки волной припоя

Состав припоя	Нагрев		Пайка	
	Температура прогрева T ₀ , °C	Длительность прогрева t ₀ , с	Пиковая температура T _p , °C	Длительность пайки t _p , с
Sn96,5Ag3Cu, 5(A30C5)	100–120	30–90	250 ± 5	3–5
Sn99,3Cu,7(C7)	100–120	30–90	250 ± 5	3–5

Таблица 4. Параметры циклов резкой смены температуры

		Состав припоя			
		Sn96,5Ag3Cu0,5	Sn96,5Ag3Cu0,5	Sn96,5Ag3Cu0,5	Sn96,5Ag3Cu0,5
Минимальная температура	°C	-40	-40	-40	-40
	Выдержка, мин	30	30	30	30
Максимальная температура	°C	125	125	125	125
	Выдержка, мин	30	30	30	30

висит от размера испытываемого компонента и его теплопроводности, от размера и количества тестируемых ПП (приложение А)¹.

В таблице 4 приведены рекомендуемые температурные условия.

При отсутствии особых требований количество температурных циклов для определения устойчивости должно быть 500–1000.

Тест на устойчивость к повышенной температуре (только для припоя Bi58Sn42)

Его применяют в испытании прочности на отслаивание, сдвиг, кручение и монотонный сгиб для SMD и прочности на отрыв штыревых компонентов (IEC 60068-2-2). Условия тестирования следующие:

- температура 85 °C;
- длительность 500 и 1000 ч.

Тест на устойчивость к повышенной температуре и влажности (для припоев Sn91Zn9 и Sn89Zn8Bi3)

Его применяют в испытании прочности на отслаивание, сдвиг, кручение и монотонный сгиб для SMD и прочности на отрыв штыревых компонентов (IEC 60068-2-78). Условия тестирования следующие:

- температура и влажность 65 °C, 85%;
- длительность 500 и 1000 ч.

Подбор условий для лучшей устойчивости результатов тестов и их анализа

Скорость теста

Методы и условия тестирования надежности паяных соединений необходимо выбирать так, чтобы во время теста могли быть повреж-

жены лишь сами соединения, а не испытываемые компоненты. При повышенной скорости тестов на отрыв, сдвиг, кручение или монотонный сгиб SMD и отрыв штыревых компонентов возникает опасность поломки ПП и/или компонентов. Поэтому следует снижать скорость тестирования для того, чтобы нарушение паяных соединений происходило по истечении от нескольких десятков до нескольких минут. Необходимые параметры определяют путем пробных тестирований.

Фиксация платы

Результаты измерений могут быть нарушены вследствие ухода платы со своей позиции либо ее колебаний во время теста. Необходимо надежно фиксировать ПП на столе: желательно в местах, близких к испытываемому паяному соединению.

Структура и размер зажимов для фиксации ПП, обеспечивающих лучшее проведение испытаний, приводится далее для каждого метода отдельно.

Результаты тестирования

Для анализа результатов необходимо фиксировать не только силу и момент времени повреждения соединения, но и характер повреждения.

Методы тестирования

Прочность монтажа SMD до и после термоциклирования

Испытания прочности SMD на отрыв, сдвиг, кручение и монотонный сгиб позволяют измерить спад прочности и других характеристик паяного соединения после термоциклирования.

¹ Все упомянутые здесь приложения будут опубликованы в следующем номере журнала.

Прочность на отрыв

Данный метод тестирования применяется для SMD с выводами в форме крыла чайки. Для определения максимальной силы, необходимой для отрыва компонента, его тянут за одну из ножек под углом 45°, как это показано на рис. 4.

Прочность соединения на отрыв определяется через изменение силы, требуемой для отрыва до и после цикла резких смен температуры, а также от характера разрыва. Тестирование применимо как для пайки волной, так и оплавлением.

Средняя скорость отрыва для корпуса QFP с шагом выводов 0,5 мм — 0,0083 мм/с (0,5 мм/мин).

Подробнее данный тест описан в IEC 62137-1-1.

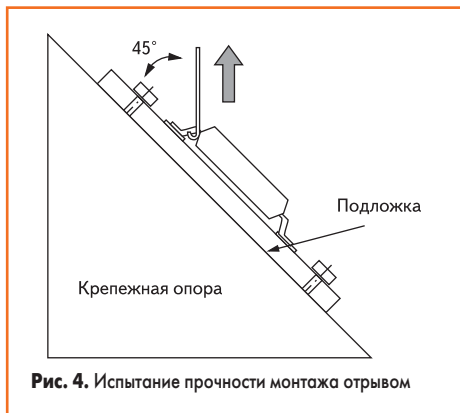


Рис. 4. Испытание прочности монтажа отрывом

Испытание прочности монтажа сдвигом компонента сбоку

Тест применяется для SMD небольшого размера. Максимальную силу, необходимую для смещения компонента, измеряют, производя его сдвиг в горизонтальной плоскости (рис. 5). Испытание проводят для пайки компонентов оплавлением.

Для корректного проведения смещения упор в корпус компонента необходимо де-

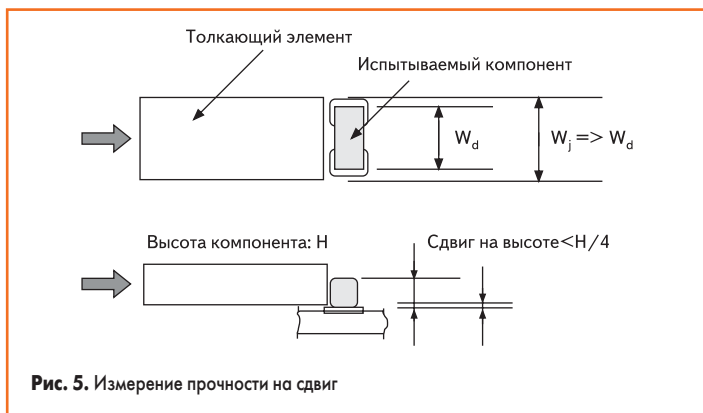


Рис. 5. Измерение прочности на сдвиг

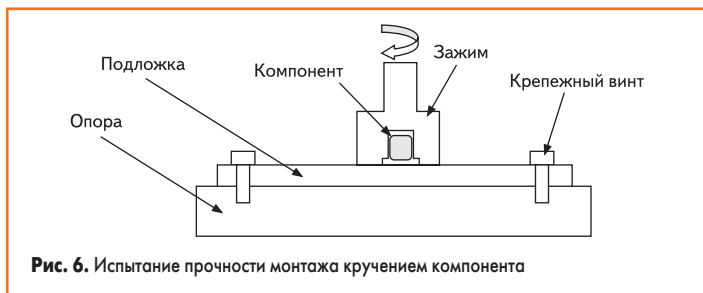


Рис. 6. Испытание прочности монтажа кручением компонента

лать на уровне 1/4 его высоты. Средняя скорость смещения должна быть 0,0083–0,5 мм/с (0,5–9 мм/мин).

Подробнее тест рассмотрен в IEC 62137-1-2.

Испытание прочности кручением

Назначение теста аналогично назначению испытаний сдвигом. Однако тест проводится в тех случаях, когда форма компонента не позволяет реализовать его сдвиг. Испытываемые компоненты должны быть достаточно большими. На рис. 6 показан используемый в этих случаях инструмент с углублением под компонент. Измерение максимальной силы кручения проводят при ее параллельном направлении к ПП.

Глубина выемки в инструменте должна быть равна высоте компонента. Кручение производят по оси, проходящей через центр компонента; смещение оси недопустимо. По возможности скорость кручения устанавливают 0,00698–0,0175 рад/с (0,4–1 град/с).

Подробнее тест рассмотрен в приложении С стандарта IEC 62137-1-2.

Испытание прочности монотонным сгибом

Проводится при больших размерах компонента. Для испытаний ПП устанавливают на две опоры (рис. 7) поверхностью с монтажом вниз и при помощи индентора (наконечника) производят на нее давление сверху до тех пор, пока паяные соединения не будут нарушены; глубину сгиба фиксируют. Оценка прочности соединений производится сравнением глубины сгиба до и после цикла резких смен температуры.

Изгиб желателен должен быть дугообразным; тест не применяют для ПП с керамическими основаниями. Глубину прогиба лучше измерять приборами с использованием изменения сопротивления (например, последовательные цепи daisy chain).

Расстояние между двумя опорами под ПП должно быть 90 мм, радиус их кривизны $R = 2,5$ мм. Радиус кривизны наконечника, передающего давление, — 5 мм.

Обязательное условие испытаний — соблюдение линейной зависимости прикладываемой нагрузки от глубины прогиба. Для выявления этой зависимости может потребоваться проведение предварительных испытаний. Также при помощи датчика, помещаемого возле испытываемого паяного соединения, необходимо определить максимально допустимую глубину прогиба ПП.

Средняя скорость сгиба для ПП со стеклоэпоксидным основанием — 0,0083 мм/с (0,5 мм/мин).

Подробнее тест описан в приложении D стандарта IEC 62137-1-3.

Испытание прочности многократным сгибом

Данный вид испытаний применяют для достаточно крупных SMD без штыревых выводов, используемых в переносных электронных устройствах. ПП с установленным SMD кладут на две опоры монтажом вниз, как это показано на рис. 8, и при помощи индентора осуществляют ее многократный сгиб на рассчитанную глубину. Сгибание платы продолжают до тех пор, пока датчик, измеряющий проводимость соединения (daisy chain), не зафиксирует обрыв цепи (приложение В). Количество произведенных сгибов подсчитывается.

Используемое оборудование и структура опор аналогичны описанным для монотонного сгиба. ПП, однако, способна потерять свою плоскостность, что может повлиять на результат измерений; форма опор должна обеспечивать равномерную кривизну изгиба платы. На рис. 9 показана система фиксации тестируемой платы, в которой предусмотрено ее выпрямление после сгиба.

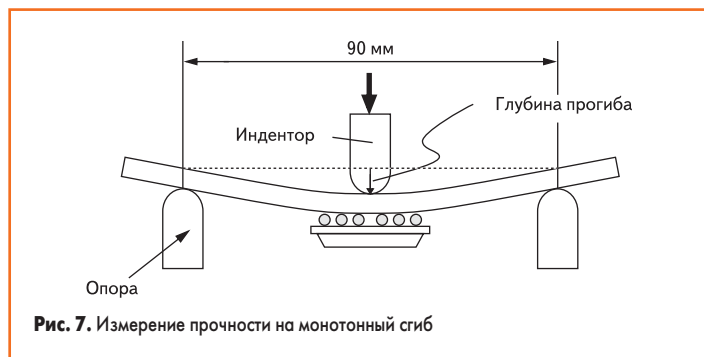


Рис. 7. Измерение прочности на монотонный сгиб

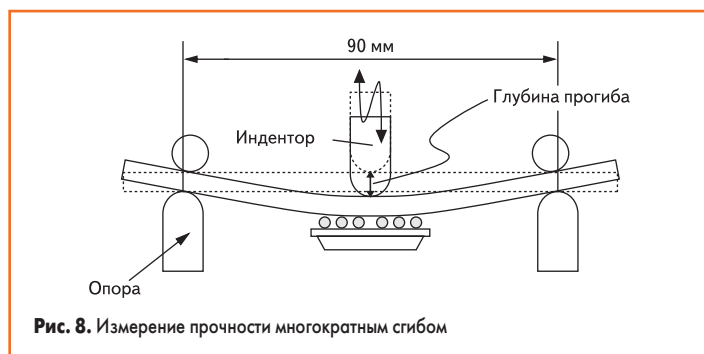


Рис. 8. Измерение прочности многократным сгибом

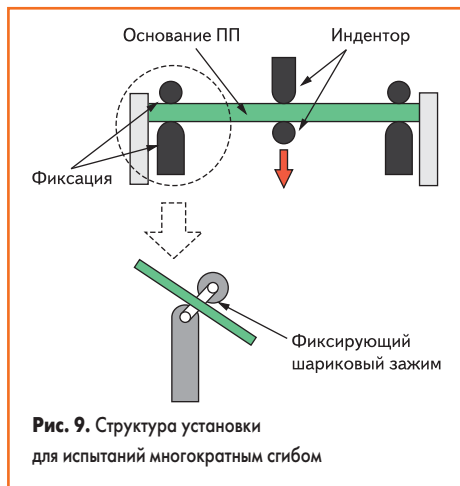


Рис. 9. Структура установки для испытаний многократным сгибом

Средняя скорость сгиба должна быть 0,5 мм/с (30 мм/мин). Требуемая глубина прогиба определяется в ходе пробных испытаний для различных размеров SMD. Нарушение монтажа должно происходить после нескольких тысяч сгибов ПП; в общем случае количество сгибов напрямую зависит от их глубины, что значительно облегчает дальнейшие расчеты.

ПП с керамическими основаниями для данного теста не подходят.

Подробнее тест рассмотрен в IEC 62137-1-4.

Усталостная прочность на механический сдвиг

Воздействие механического сдвига дополняет испытание прочности паяных соединений сдвигом, используемое вместо соответствующих воздействий температурного расширения. Существует два метода реализации механического сдвига (рис. 10).

Первый метод основан на раздвижении двух частей основания под компонентом (рис. 10а). Второй метод — сдвиг соединения внахлестку — заключается в фиксации с одной стороны основания ПП, а с другой — корпуса компонента в зажимах с приводами и их смещении относительно друг друга (рис. 10б). Таким образом, реализуется деформация паяных соединений. В тестах на усталостную прочность производят достаточно малые сдвиги с треугольной либо синусоидальной формой волны. Тестирование проводят при температуре 278 К (5 °С) или выше.

Испытание усталостной прочности механическим сдвигом продолжают до тех пор, пока максимальное сопротивление сдвигу не начнет падать, что будет сигналом начала образования трещин в соединении. При использовании электрического датчика таким признаком будет нарушение электрического сиг-

нала, идущего через соединение. В общем случае измерения можно повторять несколько раз по мере уменьшения усталостной долговечности.

Подробнее тест описан в IEC 62137-1-5.

Многократный удар

Многократным ударом испытывают прочность монтажа поверхностно монтируемых SMD, используемых в переносном электронном оборудовании. Как показано на рис. 11, ПП с установленным на ее нижней стороне SMD поднимают на определенную высоту и сбрасывают на принимающую поверхность. Сбрасывания продолжают и подсчитывают до тех пор, пока паяное соединение SMD не будет повреждено. Признаком этого будет обрыв цепи, фиксируемый датчиком. Необходимо четко определить и зафиксировать момент внешней полочки.

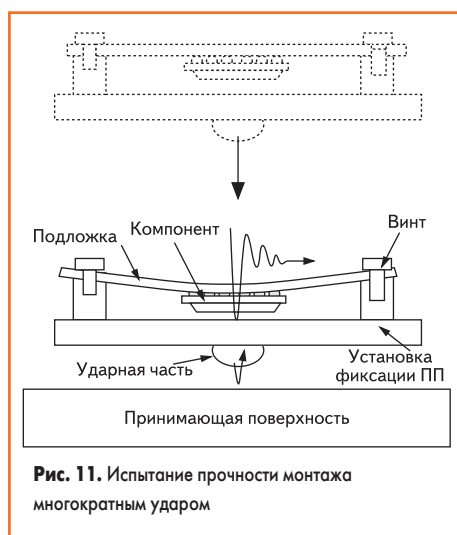


Рис. 11. Испытание прочности монтажа многократным ударом

Нарушение монтажа происходит вследствие напряжения, получаемого ПП при каждом падении установки. Для данного теста лучше использовать более тонкие ПП — толщиной 0,8–1,2 мм.

Для лучшего проведения теста необходимо выровнять напряжение, получаемое всеми паяными соединениями испытываемого SMD. Для этого рекомендуется использовать внизу ударной установки с ПП полукруглый выступ из упругого материала, чтобы избежать ассиметричное распределение нагрузки. Также рекомендуется по возможности одинаково затягивать все крепежные винты в установке. Испытательная установка должна быть сконструирована таким образом, чтобы в ней не возникало трения зафиксированной ПП о другие элементы; иначе скорость и сила удара каждый раз могут быть

разными. Поверхность, принимающая удар, не должна иметь углублений. Для проверки воспроизводимости теста желательно провести предварительные испытания с замером формы и силы получаемой ударной волны, используя прибор, фиксирующий ударные воздействия, устанавливаемый рядом с испытываемым компонентом.

Подробнее тест описан в IEC 62137-1-3.

Многократное бросание стального шарика

Испытываемую ПП фиксируют в опорном приспособлении поверхностью с монтажом SMD вниз и на нее бросают сверху с определенной высоты стальной шарик (рис. 12). Количество бросков подсчитывается; броски производят в наиболее слабое место монтажа — над одним из краев SMD. Момент нарушения монтажа определяют посредством измерения проводимости испытываемого соединения. При этом желательно фиксировать начальное нарушение соединения (внешнее).

Для лучшего проведения теста необходимо, чтобы используемое оборудование обеспечивало точное позиционирование удара шариком. Для проверки воспроизводимости теста желательно провести предварительные испытания с замером формы и силы получаемой ударной волны, используя прибор, фиксирующий ударные воздействия, устанавливаемый рядом с испытываемым компонентом.

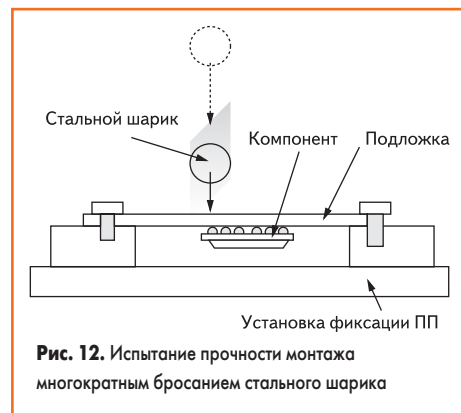


Рис. 12. Испытание прочности монтажа многократным бросанием стального шарика

Подробнее тест описан в приложении Е стандарта IEC 62137-1-3.

Испытание прочности компонентов со штыревыми выводами

Вырывание штыревых компонентов

Данный тест позволяет измерить максимальную силу, необходимую для вырывания штыревого вывода компонента, установленного на односторонней ПП. Для этого плату

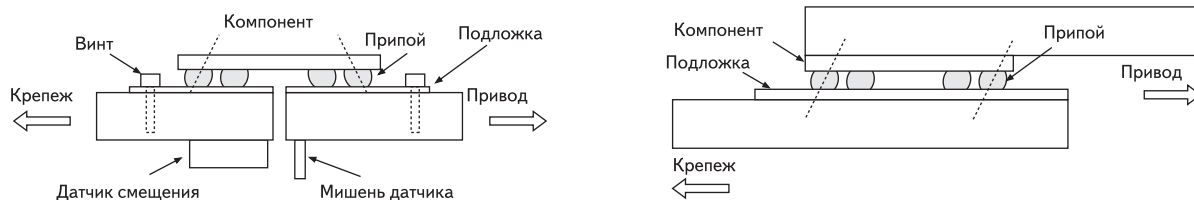
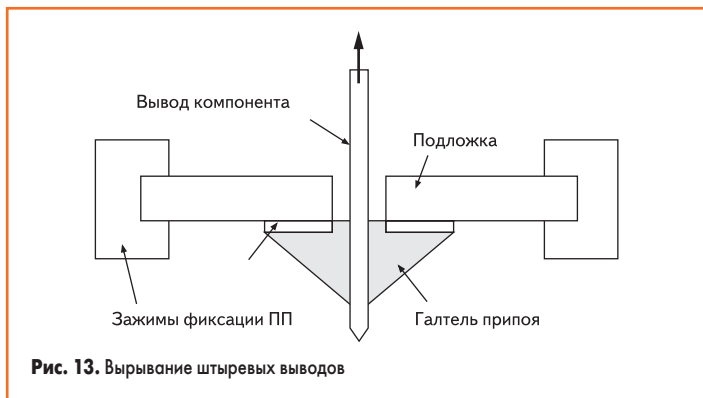


Рис. 10. Испытание усталостной прочности на механический сдвиг


Рис. 13. Вырывание штыревых выводов

фиксируют в специальной установке и в направлении, перпендикулярном ее плоскости, производят вырывание одного из выводов (рис. 13). Чтобы оценить степень надежности паяных соединений, тест проводят до и после применения цикла резких смен температуры. Если форма компонента затрудняет проведение теста, можно отдельно испытывать один из его выводов. Скорость вырывания можно устанавливать из ряда значений — 1, 5, 10 или 20 мм/мин.

Подробнее тест описан в приложении F стандарта IEC 62137-1-3.

Испытание прочности фиксации штыревых выводов

В данном тесте измеряют время, необходимое для вырывания или выпадения штыревого вывода компонента из сквозного отверстия под действием подвешенного к нему груза в термокамере (рис. 14). В случае, когда форма компонента затрудняет проведение теста, можно испытывать отдельный его вывод. Время теста считается до того момента, когда измерительный прибор не зафиксирует нарушение проводимости испытываемого соединения.

К условиям теста относят температуру в камере и вес груза. Температуру в камере устанавливают в зависимости от температуры плавления припоя T_m ; обычно достаточно выполнения условия $T > 0,4 T_m$ (в Кельвинах). Для стандартных припоев комнатная температура примерно равна $0,6 T_m$, поэтому теоретически тест можно проводить при

температуре от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до T_m . При граничных условиях, однако, нагрузка на компонент и на сопротивляемость материала ПП будет предельной. Поэтому, учитывая стойкость материалов к температурным воздействиям, рекомендуется использовать температуру от комнатной до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для ПП со стеклоэпоксидным основанием, обладающим повышенной T_g (температурой стеклования), можно использовать более высокие температуры испытаний. Для определения оптимальной массы груза рекомендуется проведение пробных испытаний.

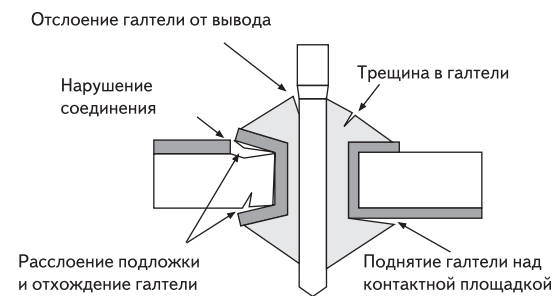
Таким образом, прочность пайки штыревых выводов определяется массой груза и временем, требуемым для их вырывания из монтажных отверстий.

Подробнее тест описан в приложении G стандарта IEC 62137-1-3.

Явление отслоения галтелей при монтаже штыревых выводов

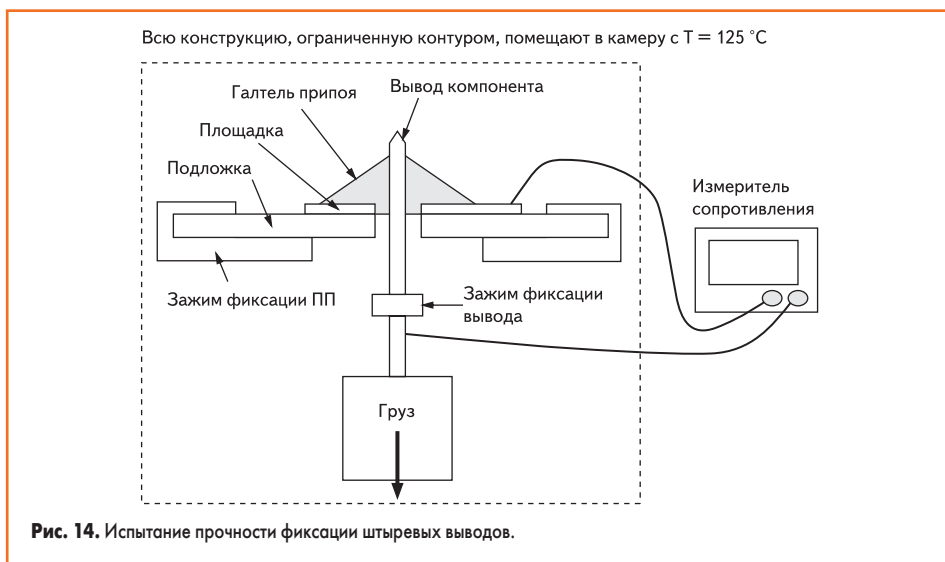
Сразу после пайки компонентов на плате рекомендуется проверять наличие отслоений галтелей припоя (рис. 15). Для этого используют увеличительное стекло, располагаемое под углом $10\text{--}30^{\circ}$ к поверхности ПП.

Более подробное описание приведено в приложении H стандарта IEC 62137-1-3.


Рис. 15. Отхождение галтелей паяных соединений

Литература

1. Медведев А. Стандарты МЭК в отечественной нормативной базе // Производство электроники. 2007. № 2.
2. IEC 60068-1:1988, Environmental testing. Part 1: General and guidance, Amendment 1:1992.
3. IEC 60068-2-2:2007, Basic environmental testing procedures. Part 2: Tests, Test B: Dry heat.
4. IEC 60068-2-14:1984, Environmental testing. Part 2: Test N: Change of Temperature, Amendment 1:1986.
5. IEC 60068-2-78:2001 Environmental testing. Part 2-78: Tests — Test: Cab: Damp heat, steady state.
6. IEC 60194:2006, Printed board design, manufacture and assembly. Terms and definitions.
7. IEC 61188-5(all parts): Printed boards and printed board assemblies. Design and use.
8. IEC 61190-1-1:2002, Attachment materials for electronic assembly. Part 1-1; Requirements for soldering fluxes for high-quality interconnections in electronics assembly.
9. IEC 61190-1-2:2007, Attachment materials for electronic assembly. Part 1-2; Requirements for solder pastes for high-quality interconnections in electronics assembly.
10. IEC 61249-2-7:2002, Materials for printed boards and other interconnecting structure. Part 2-7; Reinforced base materials clad and unclad. Epoxide woven E-glass laminated sheet of defined flammability (vertical burning test), copper-clad.
11. IEC 62137:2005, Environmental and endurance testing. Test methods for surface-mount boards of area array type packages FBGA, BGA, FLGA, LGA, SON and QFN.
12. IEC 62137-1-1:2007, Surface mounting technology — Environmental and endurance test methods for surface mount solder joint. Part 1-1: Pull strength test.
13. IEC 62137-1-2:2007, Surface mounting technology — Environmental and endurance test methods for surface mount solder joint. Part 1-2: Shear strength test.
14. Future IEC/PAS 62137-3 © IEC:200x-7-91/784/PAS.
15. IEC 62137-1-3(91/708/CDV), Surface-mount technology. Environmental and endurance test methods for surface mount solder joint. Part 1-3: Cyclic drop test.
16. IEC 62137-1-4(91/746/CDV), Surface mounting technology. Environmental and endurance test methods for surface mount solder joints. Part 1-4: Cyclic bending test.
17. IEC 62137-1-5(91/743/CDV), Surface mounting technology. Environmental and endurance test methods for surface mount solder joints. Part 1-5: Mechanical shear fatigue test.


Рис. 14. Испытание прочности фиксации штыревых выводов.