



# Причины возникновения и способы борьбы с эффектом «надгробного камня»

**Эффект «надгробного камня», возникающий в процессе пайки пассивных чип-компонентов, доставляет немало проблем производителям плат с момента существования технологии поверхностного монтажа. Заключается он в том, что в момент оплавления один из контактов чип-компонента поднимается над платой. Иногда компонент поднимается частично, а иногда — полностью, становясь на одну из контактных площадок, что очень напоминает, как ни зловеще это звучит, могильную плиту на кладбище (рис. 1). Отсюда и такое необычное название — эффект «надгробного камня». Такая аналогия не случайна, ведь постоянные затраты на ремонт плат могут похоронить надежды производителя получить прибыль от своей продукции.**

**Александр Левданский**

alev@dialectrolux.ru

В начале развития технологий поверхностного монтажа эффект «надгробного камня» в основном ассоциировался с конвекционной пайкой, когда нагрев происходил стремительно по линейно нарастающей характеристике. Этот эффект практически исчез после внедрения технологии принудительного обдува и более сложного процесса терморегулирования.

Тем не менее проблема возникновения такого эффекта полностью не исчезнет никогда. Она напоминает о себе, когда разрабатываются и внедряются более мелкие компоненты, увеличивается плотность монтажа или используются бессвинцовые материалы.

## Причины возникновения эффекта «надгробного камня»

Разность температур внутри паяного соединения и различная смачиваемость поверхности соединений чип-компонента приводят к несинхронному их оплавлению. В идеале оба контакта чип-компонента должны оплавляться, смачиваться и тем самым образовывать паяное соединение одновременно. В этом случае все силы, действующие на оба

контакта, например поверхностное натяжение, будут уравнивать друг друга.

Если этого не происходит и один контакт оплавлялся быстрее второго, то под действием силы натяжения чип-компонент встает на один из контактов, а второй поднимается над уровнем платы.

## Смачиваемость

Существует три важных параметра механизма смачиваемости: 1) время начальной смачиваемости; 2) сила смачивания; 3) время полной смачиваемости. От того, насколько быстро произойдет полная смачиваемость, зависит возникновение эффекта «надгробного камня», так как при полной смачиваемости силы, действующие на паяное соединение, максимальные.

Если полная смачиваемость одного из контактов происходит значительно быстрее, чем второго, то сила смачивания может поднять одну сторону чип-компонента над платой.

## Влияние массы паяного соединения на возникновение эффекта «надгробного камня»

Масса каждого паяного соединения на концах чип-компонента оказывает большое влияние на возникновение этого эффекта. Чем меньше масса припоя с одной стороны компонента, тем быстрее произойдет оплавление, и, таким образом, сила натяжения на эту сторону начнет действовать раньше. Различия в массе обоих паяных соединений чип-компонента может быть вызвано следующими факторами: отклонениями размеров контактных площадок; отклонениями металлизации контактов компонентов; отклонениями количества паяльной пасты при ее нанесении, различной теплоемкостью контактных площадок.

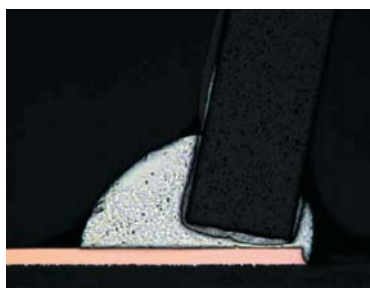


Рис. 1. Чип-резистор с эффектом «надгробного камня»

**Таблица 1.** Рекомендованные размеры контактных площадок в соответствии с размерами чип-компонентов

Размер компонентов	Размеры контактных площадок (мм)					
	A	B	C	D	E	F
0201	0,75	0,23	0,26	0,31		
0402	1,50	0,50	0,50	0,60	1,00	1,90
0603	2,10	0,90	0,60	0,90	1,45	2,35
0805	2,60	1,20	0,70	1,30	1,90	2,85
1206	3,80	2,00	0,90	1,80	2,25	4,05

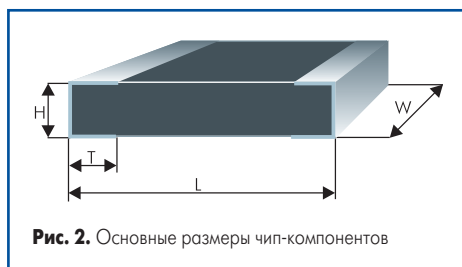
#### Масса контактных площадок

Чем больше размеры и масса контактной площадки, тем больше площадь паяного соединения и, следовательно, больше поверхностное натяжение. Размеры контактных площадок могут отличаться друг от друга, так как не заданы точные рамки отклонений этих размеров, несмотря на то что есть рекомендации по размерам контактных площадок для определенных чип-компонентов. Различия в отклонениях размеров могут оказывать огромное влияние на массу контактных площадок.

Кроме того, размеры контактных площадок и их отклонения должны быть сопоставимы с точностью установки чип-компонентов. Очень часто размер контактной площадки непропорционально больше размера компонента. Борьба с этим можно путем увеличения точности установки компонентов. Рекомендованные размеры контактных площадок в соответствии с размерами чип-компонентов приведены в таблице 1.

#### Масса контактов чип-компонентов

Различия в массе контактов чип-компонентов, зависящие от типа компонента и его очертаний, непосредственно влияют на скорость нагрева и время оплавления. Чем меньше чип-компонент, тем больше влияние отклонений размеров его контактов, отклонений металлизации и точности монтажа. Размеры контактов чип-компонентов приведены на рис. 2 и в таблице 2.



**Рис. 2.** Основные размеры чип-компонентов

#### Масса паяльной пасты

Чем меньше объем паяльной пасты, тем быстрее произойдет оплавление. Неважно, какой тип нанесения пасты используется, ее количество должно быть достаточным для формирования хорошего соединения, но не чрезмерным. Также важно, чтобы паяльная паста была нанесена строго на контактные площадки. Оптические системы контроля позволяют получить трехмерное изображение нанесенной паяльной пасты, что дает оператору возможность четко контролировать ее количество и массу.

**Таблица 2.** Размеры и отклонения размеров контактов чип-компонентов

Размер компонентов	Размеры контактов чип-компонентов									
	L			W			H		T	
	Ном.	Доп. –	Доп. +	Ном.	Доп. –	Доп. +	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
0201	0,60	0,03	0,03	0,30	0,30	0,30	0,30			
0402	1,00	0,02	0,10	0,5	0,02	0,10	0,30	0,40	0,15	0,30
0603	1,60	0,10	0,10	0,80	0,05	0,15	0,35	0,55	0,10	0,50
0805	2,00	0,15	0,15	1,25	1,15	1,15	0,50	1,70	0,20	0,60
1206	3,80	2,00	0,90	1,80	2,25	4,05	0,50	1,70	0,25	0,75

#### Снижение $\Delta T$

Чем меньше оксидов и чище поверхность контактной площадки и контактов чип-компонентов, тем меньше межфазное поверхностное натяжение, меньше время начальной смачиваемости, и тем быстрее наступит полная смачиваемость. Если поверхности паяных соединений чип-компонента окисдируют одинаково, это замедлит процесс начальной смачиваемости. Замедление начальной смачиваемости дает лишнее время на увеличение температуры больших контактных площадок и контактов, что приводит к снижению  $\Delta T$ .

Какие факторы обычно влияют на смачиваемость? Один из примеров — это повреждение металлизации контактов чип-компонента или дефекты покрытия, что снижает площадь смачиваемой поверхности.

#### Роль азота в конвекционной пайке

Использование азота при конвекционной пайке помогает ускорить процесс начальной смачиваемости, так как он предотвращает повторное окисление поверхностей. По сравнению с конвекционной пайкой в воздушной среде пайка в среде азота позволяет значительно снизить окисление металлических слоев поверхностей контактов и контактных площадок при переходе от предварительного нагрева к процессу оплавления. Как результат — чистая поверхность смачивается быстрее.

Однако быстрая смачиваемость увеличивает  $\Delta T$ , а для предотвращения эффекта «надгробного камня» необходимо замедлить процесс начальной смачиваемости. Поэтому ко всем преимуществам использования азота при конвекционной пайке необходимо добавить свое внимательное отношение к точности монтажа чип-компонентов и терморегулированию.

#### Какую использовать паяльную пасту?

Полностью устранить или по крайней мере значительно минимизировать вероятность возникновения эффекта «надгробного камня» можно путем выбора правильного типа паяльной пасты. Особенность такой пасты заключается в ее припое, который на 50% состоит из металлических частиц с температурой плавления 179 °C и на 50% — из металлических частиц с температурой плавления 183 °C.

Одной из первых подобную пасту предложила голландская фирма Sobar, которая специализируется на производстве разнообраз-

ных материалов для пайки. Решение было достаточно простое: смешать два типа самых популярных и давно применяемых паст Sn63-ХМ3S (63% олова, 37% свинца, температура ликвидус 183 °C) и Sn62-ХМ3S (62% олова, 36% свинца, 2% серебра, температура ликвидус 179 °C). Таким образом, температура ликвидус новой паяльной пасты составила 179 °C, а температура солидус — 183 °C. Она получила название S6M-ХМ3S (62,5% олова, 36,5% свинца, 1% серебра), где символ «M» означает «mix» — «смесь».

В температурном диапазоне от 179 до 183 °C паяльная паста становится суспензией твердых металлических частиц Sn63 и уже расплавленных частиц Sn62. Сила поверхностного натяжения соединения, которое оплавляется быстрее, снижется за счет твердых металлических частиц сплава с температурой плавления 183 °C. В это время происходит оплавление сплава с температурой плавления 179 °C на втором контакте чип-компонента. Благодаря этому устраняется неравенство сил поверхностного натяжения, действующих с разных сторон компонента.

#### Как бороться с возникновением эффекта «надгробного камня»?

Суммируя все вышесказанное, можно выявить несколько важных правил, соблюдая которые, производитель никогда не столкнется с такой проблемой:

1. Уменьшение  $\Delta T$  на плате при помощи точного регулирования температурного профиля пайки. Современные многозонные конвекционные печи имеют  $\Delta T \leq \pm 1$  К.
2. Использование качественных чип-компонентов и печатных плат (минимальное отклонение размеров контактов и контактных площадок).
3. Увеличение точности монтажа. Современные автоматы для поверхностного монтажа позволяют устанавливать компоненты при 6σ.
4. Использование паяльной пасты с припоем, у которого температура ликвидус отличается от температуры солидус.

В заключение хочется отметить, что возникновение эффекта «надгробного камня» можно и нужно предотвращать. Следует комплексно подходить к решению этой проблемы. Необходимо внимательно относиться к причинам возникновения такого явления и вовремя реагировать на них. Результатом будет снижение процента брака, снижение затрат на ремонт и увеличение пропускной способности производства.