

# Паяемость бессвинцовых припоев

**Свойства смачиваемости мягких припоев и паяльных паст являются существенным критерием для их использования. Институтом надежности и микроинтеграции (Fraunhofer IZM) совместно с Институтом кремниевых технологий (Fraunhofer ISiT) были проведены исследования площади растекаемости припоя и временных зависимостей силы смачивания некоторых бессвинцовых припоев.**

**Матиас Новоттник,**  
д. т. н., профессор  
университета Ростка

mathias.nowottnick@uni-rostock.de

**Андрей Новиков**

andrej.novikov@uni-rostock.de

Данные исследования проводились в рамках проекта «Обрабатываемость и надежность бессвинцовых припоев для пайки оплавлением и пайки волной припоя» (DVS/AiF-№ 48ZN/7.0 IP). В качестве сравнения был использован стандартный припой SnPb36Ag2. Испытываемые образцы представляли собой печатные платы с различными финишными покрытиями. Последующие испытания были проведены в университете Ростка. В результате данных исследований было установлено, что выбор правильной температуры пайки по отношению к температуре плавления припоя приводит к похожим результатам смачивания. В качестве отправной точки предлагается 10%-ное превышение температуры пайки над температурой плавления. Практическое осуществление таких высоких температур зачастую проблематично из-за максимально допустимых температур используемых компонентов и материалов печатных плат.

## Введение

Обеспечение паяемости является важным условием обеспечения надежности электронных систем и процессов их изготовления. Применяемые на практике исследования паяемости описаны в стандарте DIN 32 506. Наиболее простое исследование паяемости представляет собой визуальную оценку смачиваемости припоя после погружения в ванну с расплавленным припоем или после оплавления паяльной пасты.

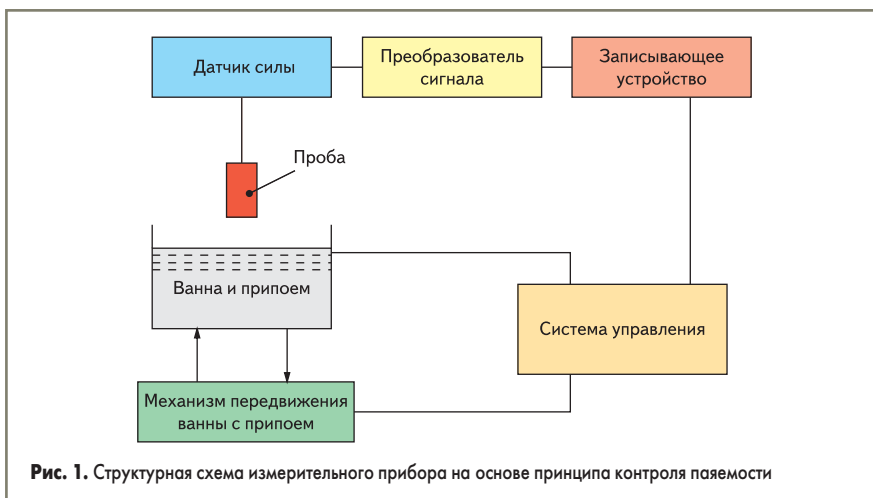
Методом погружения в ванну с расплавленным припоем с применением подходящего флюса могут быть достигнуты хорошие результаты для волновой пайки. Для пайки оплавлением используется оценка

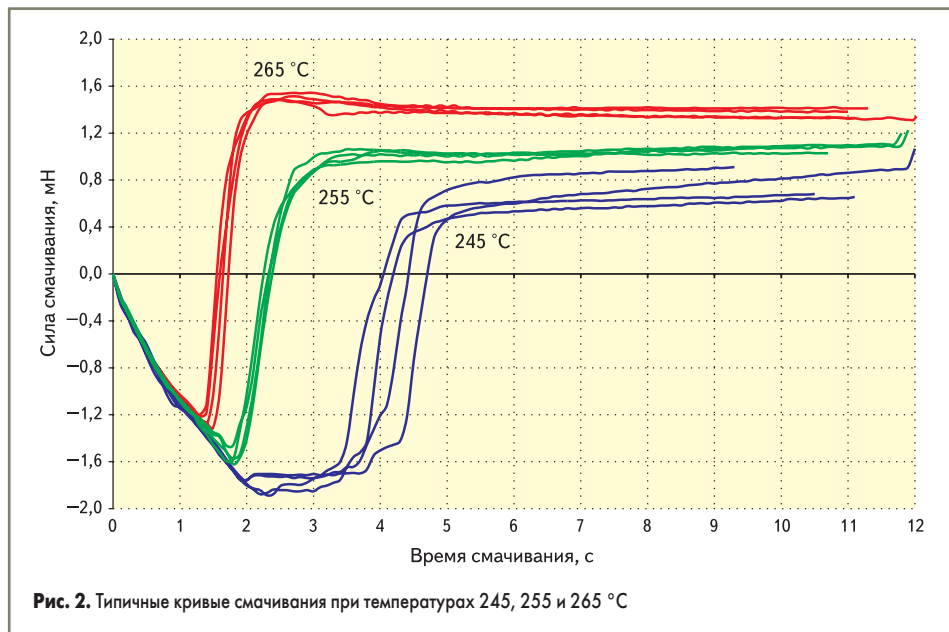
растекаемости отпечатков паяльной пасты на смачиваемой поверхности при оплавлении. Преимущество второго метода заключается в возможности его проведения без специального технического оборудования. Так как этот тест проводится на производственном оборудовании, с такими же температурными режимами и такими же паяльными пастами, он идеально соответствует условиям производства. Большие свободные смачиваемые поверхности на печатных платах могут также быть использованы для этого теста. Недостатком метода является субъективность оценки результатов. Этот минус может быть устранен точным измерением площадей смачивания, например с помощью микроскопа с соответствующим программным обеспечением. Полученные таким образом результаты все равно не являются полноценными, так как не содержат информации о динамике и временных изменениях процесса смачивания.

Наиболее точным методом контроля паяемости является измерение силы смачивания [1] (например, по стандарту DIN 32 506 T-4). При помощи специального прибора для измерения силы смачивания погружением пробы в расплавленный припой (ванна с припоем или шарик припоя) записываются изменения взаимодействия сил. Полученная временная зависимость сил взаимодействия, градиент и амплитуда позволяют оценить качество смачивания. Измеренная величина силы складывается из таких компонентов, как вес, противодействие, сила смачивания, сила поверхностного натяжения и сила сцепления. Это делает невозможным точное соотношение наблюдаемых эффектов с отдельными измерениями и зачастую усложняет интерпретацию полученных данных. На рис. 1 представлена схема подобного измерительного прибора.

Кроме немецкой нормы для испытания паяемости DIN 32 506 существует еще целый ряд международных правил и норм, таких как, например, IPC-TR-466, MIL-STD-833C или J-STD-002/3. Во всех этих нормах присутствует описание контроля паяемости только для волновой пайки и пайки погружением в расплавленный припой. Результаты таких измерений могут быть лишь частично использованы для современных технологий пайки оплавлением. Специальные приборы для измерения силы смачивания при оплавлении паяльной пасты, произведенные в Америке и Японии, используются и в Европе, например в университете Ростка.

Испытание паяемости может быть также проведено после старения образцов при различных условиях с целью оценки надежности компонентов





и долговечности металлизации их контактов. В любом случае необходимо сравнение с подходящим образцом, поскольку испытание паяемости не дает абсолютной оценки надежности технологического процесса пайки. На рис. 2 показаны типичные кривые смачивания медных контактов эвтектическим припоем SnCu при различных температурах. Температура пайки влияет как на амплитуду силы смачивания ( $F_{max}$ ), так и на время смачивания ( $t_{2/3}$ ).

Испытание паяемости выше описанным методом получило особое значение с введением бессвинцовых припоев. С помощью этого метода можно систематически оптимизировать технологические параметры процесса пайки, как время и температуру пайки за короткий срок. Взаимодействие между такими материалами, как бессвинцовый припой, металлизация контактных площадок, металлизация компонентов и флюс, может быть также изучено этим методом, а результаты использованы для выбора оптимальной комбинации материалов.

### Измерение площади растекания

Для метода измерения растекаемости обычно используется паяльная паста. Так как в данном случае необходима сравнительная оценка самих припоев, то такие факторы, как размер частиц металлического порошка и его распределение, а также флюс, должны быть исключены. С этой целью из паяльной пасты были изготовлены шарики припоя (вес одного шарика 200 мг). Для всех припоев использовался флюс Acties 2 компании Multicore. Все пробы были расплавлены в паровой фазе с временем пиковой температуры 120 с. Измеренная площадь растекания припоя четырех шариков (среднее значение) является показателем качества смачивания. В таблице представлены параметры теста на растекаемость различных припоев на различных поверхностях.

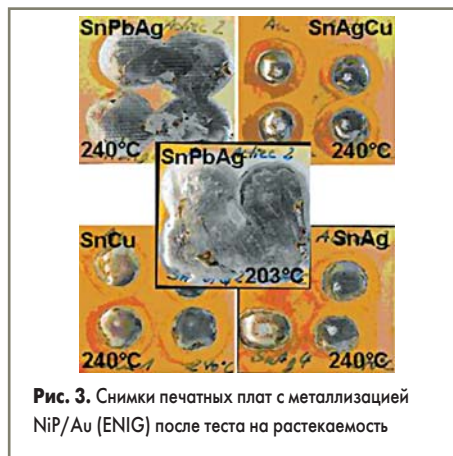
В отличие от бессвинцовых припоев с более высокой температурой плавления, которые были расплавлены при температуре 240 °C, эвтектический припой SnBi испытывался при

Таблица. Параметры исследований

	SnPbAg2	SnAg3,8Cu0,7	SnAg4	SnCu1
Cu	203+240 °C	240 °C	240 °C	240 °C
Ni/P-Au	203+240 °C	240 °C	240 °C	240 °C
Imm Sn	203+240 °C	240 °C	240 °C	240 °C
Imm Ag	203+240 °C	240 °C	240 °C	240 °C

температуре 155 °C, а припой SnPbAg2, который использовался для сравнения, дополнительно при 203 °C. Следовательно, все припои были исследованы при температуре, которая превышала их температуру плавления примерно на 20°, что естественно улучшает возможность сравнения отдельных припоев. По вышеописанному методу были получены площади растекания припоев на различных поверхностях печатных плат. Эти значения были усреднены и сравнены между собой. На рис. 3 представлены площади растекания четырех припоев на примере финишного покрытия NiP/Au. Припой SnPbAg был протестирован при двух различных температурах: при 203 °C (фото в середине) и при 240 °C (фото наверху слева).

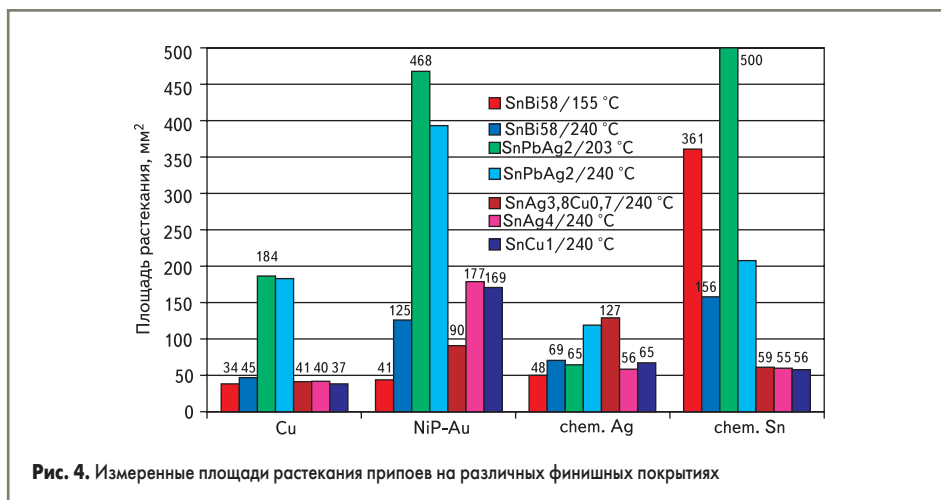
На рис. 4 в виде диаграммы представлены оптически измеренные площади растекания пяти припоев на четырех финишных покрытиях. Для начала можно заметить, что наилучшие ре-



зультаты были достигнуты на поверхностях NiP/Au и Immersion Sn (chem Sn). Поверхность Cu/OSP хорошо смачивается только припоем SnPbAg независимо от температуры. Это объясняется тем, что состав OSP изначально оптимизирован для температуры плавления свинец-содержащего припоя [2]. Интересен факт ухудшения смачивания поверхности Immersion Sn припоем SnPbAg при более высокой температуре. Причиной этого является образование интерметаллических фаз SnCu, вследствие расплавления покрытия из олова толщиной около 1 мкм при температуре 240 °C.

### Измерение силы смачивания

Для более точных высказываний о временных зависимостях процесса смачивания необходимо измерение силы смачивания специальным прибором. В данном исследовании использовался прибор для измерения силы смачивания модели MUST II, выпускаемый компанией Multicore. Для испытаний был выбран метод с шариком припоя. Этот метод позволяет проводить испытания на образцах печатных плат, которые фиксируются в приборе в виде полосок. В данном эксперименте образцы печатных плат опускались в шарик припоя под углом 45°, так как при этом геометрические допуски образцов и прибора меньше влияют на измерения. В этом тесте на паяемость использовались шарики припоя весом 200 мг, изготовленные оплавлением паяльной пасты в специально сконструированной графитовой форме. Оплавление происходило в конденсационной печи



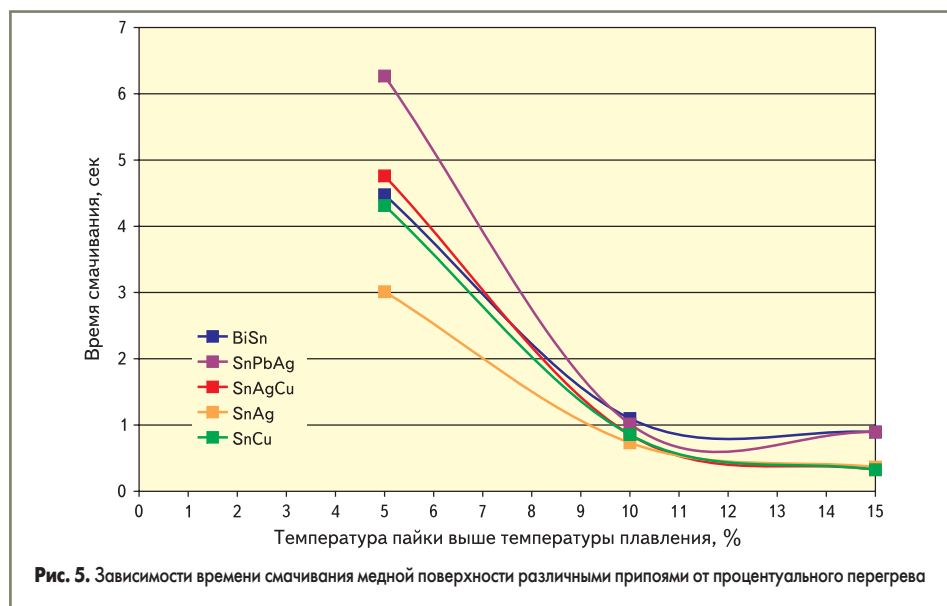


Рис. 5. Зависимости времени смачивания медной поверхности различными припоями от процентуального перегрева

при 240 °С. Остатки флюса удалялись ультразвуковой очисткой в ванне с изопропанолом.

Предварительные исследования, в том числе тесты на растекаемость припоя, показали, что температура оказывает большое влияние на результаты измерений. Влияние этого параметра было более подробно исследовано при измерении силы смачивания. Для обеспечения одинаковых условий для всех припоев, испытания проводились при трех температурах, которые превышали температуру плавления припоя соответственно на 5, 10 и 15% (гомологические температуры испытания 1,05; 1,10 и 1,15). Для точного вычисления этих температур необходимо использовать абсолютные значения температур по шкале Кельвина. Так, например, для припоя SnAgCu с температурой плавления 217 °С вычисление производится следующим образом:

$$\begin{aligned} 217\text{ °С} &= 490\text{ К} \\ 490\text{ К} + 5\% &= (490 \times 1,05) \approx 515\text{ К} \\ 515\text{ К} &= 242\text{ °С} \end{aligned}$$

В ходе исследований было установлено, что при одинаковом процентуальном перегреве выше точки плавления бессвинцовые припой имеют подобные или даже более высокие значения силы смачивания, чем припой SnPbAg. У всех исследованных припоев зафиксировано значительное увеличение силы смачивания между 5%- и 10%-ным перегревом. Дальнейшее увеличение перегрева до 15% выше точки плавления практически не ведет к увеличению силы смачивания. Еще более отчетливо эти изменения можно наблюдать при сравнении времени смачивания при одинаковом процентуальном перегреве, но при различных абсолютных температурах. Полученные кривые представлены на рис. 5. Для оценки результатов было выбрано время смачивания при достижении 2/3 максимального значения силы смачивания. Зависимость времени смачивания от процентуального перегрева выше точки плавления похожа на аналогичную зависимость силы смачивания.

Особенно между 5%- и 10%-ным перегревом можно наблюдать значительное сокраще-

ние времени смачивания. По сравнению с более низкой температурой происходит сокращение времени смачивания примерно на 20–25%. Дальнейшее увеличение температуры испытаний ведет к дополнительному сокращению времени смачивания для всех исследованных припоев. Правда, эти изменения незначительны. На основании данных результатов можно сделать заключение, что смачивание различными мягкими припоями является эквивалентным при сравнимых температурах. Для сокращения процесса пайки и быстрого смачивания рекомендуется температура пайки, на 10% превышающая температуру плавления припоя.

### Заключение

Важным заключением из проведенного исследования бессвинцовых припоев является тот факт, что выбор правильной температуры пайки по отношению к температуре плавления припоя приводит к сравнимым результатам для исследованных припоев. В качестве отправной точки рекомендуется 10%-ный перегрев выше точки плавления припоя. Конкретные значения для исследованных припоев: 179 °С для SnBi; 224 °С для SnPbAg; 266 °С для SnAgCu; 270 °С для SnAg и 277 °С для SnCu. Эти температуры пайки представляют собой оптимальный вариант для смачивания припоем при учете лишь металлургических особенностей процесса пайки. Практически эти температуры могут быть в лучшем случае применены только при волновой или селективной пайке. Температура при пайке оплавлением ограничивается в первую очередь максимально допустимой температурой отдельных компонентов и материала печатной платы. Так, лишь в некоторых случаях допустима максимальная температура 260 °С, чаще 250 °С или даже 240 °С. Учитывая температурные особенности процесса пайки необходима компенсация за счет увеличения времени пайки. В противном случае возможны проблемы со смачиванием, а также появление пор и включений флюса в паяных соединениях. В будущем ожидается появление на рынке компонентов с расширенным допустимым диапазоном температур для техноло-

гии бессвинцовой пайки. Пока это не произошло, необходимо искать компромисс между оптимальным смачиванием и минимальной нагрузкой компонентов и материала печатной платы при установлении температурных режимов пайки. Кроме того, компоненты, которые специфицированы для бессвинцовой пайки, требуют специальных условий хранения и использования, в целях предотвращения «попкорн»-эффекта. В данном случае необходима дополнительная сушка компонентов и их хранение в герметичной таре.

Для увеличения технологического окна для оплавления рекомендуется применение бессвинцового припоя с наиболее низкой температурой плавления. Для припоя SnAgCu с температурой плавления 217 °С при температуре пайки 240 °С достигается лишь 5%-ный перегрев выше точки плавления, при температуре пайки 250 °С это уже 7%. Выбор флюса имеет особое значение при оптимизации технологического окна при описанных условиях. Так как использование бессвинцовых припоев происходит в термически неблагоприятных условиях, применяемые флюсы должны эффективно работать в узкой температурной области, ограниченной температурой плавления и максимальной температурой пайки. Возможная необходимость более продолжительного времени пайки должна быть также учтена при выборе состава флюса, поскольку термическое разрушение активаторов и растворителей требует согласования с необходимым более длительным временем воздействия.

Между тем, многие компании и институты уже провели исследования бессвинцовых припоев. Первый практический опыт подтверждает многие высказывания, как, например, появление пор при бессвинцовых процессах пайки. Положительным моментом является то, что многие производители припоев и флюсов активно работают над улучшением флюсов и паяльных паст, что уже сегодня проявляется при применении этих материалов. Немецкий Центральный союз электротехнической промышленности (ZVEI) наиболее полно представил параметры технологических процессов для бессвинцовой пайки и сравнил их с параметрами пайки свинецсодержащими припоями в руководстве по состоянию технологического оборудования для бессвинцовых припоев, которое базируется на сведениях, полученных от производителей технологического оборудования [3]. Для пайки оплавлением в данном руководстве указаны припой SnAgCu и SnAg3,5 с пиковой температурой пайки от 245 до 255 °С, а для пайки волной припой SnCu0,7 с температурой 275 °С. ■

### Литература

1. DIN 32 506: Lötbarkeitsprüfung für das Weichlöten, Juli 1981.
2. Hannemann, M.; Nowottnick, M.; Zajitschek, R.: Lötbar Oberflächen für Leiterplatten, TGBZ D. Zajitschek, Steinheim/Main 1999.
3. ZVEI: Stand der Anlagentechnik für bleifreies Löten in der Elektronikfertigung; Bericht der ZVEI-Task Force, 2001.