

Роман Кондратюк  
materials@ostec-group.ru

## Выбор низкотемпературных сплавов для решения специальных задач в производстве электронных изделий

Металлы и их сплавы нашли широкое применение в производстве электронных изделий. Свойства этих материалов известны и хорошо изучены, но в ряде случаев возникает необходимость экспериментальным путём находить наиболее подходящее решение для специальных задач. К таким задачам могут относиться: многостадийная пайка, пайка неметаллических поверхностей, создание паяных соединений для новых условий эксплуатации, создание теплопроводящих слоёв, герметизация электронных приборов и т.д. Решающим фактором при выборе материалов для подобных задач является возможность проведения испытаний и отработки технологии. В данной статье мы рассмотрим варианты применения низкотемпературных сплавов в решении специализированных задач.

Низкотемпературные сплавы широко применяются в производстве электронных изделий. В основном, эти материалы используются для соединения различных компонентов методом пайки или прижима. При этом такие сплавы обеспечивают создание надёжных механических, электрических, тепловых и/или герметизирующих контактов.

Выбор сплава осуществляется исходя из особенностей конструкции, механических/электрических характеристик и условий эксплуатации прибора.

В зависимости от задач выбор припоя может определяться следующими основными факторами:

- **температура плавления:** основной параметр при выборе сплава. Характеризуется температурами ликвидуса (наивысшая температура, при которой припой ещё твёрдый) и солидуса (наименьшая температура, при которой припой становится полностью жидким);
- **максимальная и минимальная рабочие температуры конечного изделия:** максимальная рабочая температура ограничена

температурой плавления припоя. Минимальная – стабильностью характеристик и отсутствием физических изменений (таких, как например «оловянная чума»);

- **содержание опасных компонентов:** современные стандарты вводят ограничения на использование токсичных металлов (свинец, кадмий) в определённых задачах;
- **прочность паяного соединения:** важный параметр при создании устройств, работающих в условиях вибро- и механических нагрузок;
- **совместимость металлов:** отсутствие совместимости припоя и металлизации может приводить к полному растворению металлизации и образованию хрупких интерметаллических соединений;
- **стабильность при термоциклировании:** прочность паяного соединения при изменении температур. Важный параметр для приборов, работающих в жёстких климатических условиях;
- **электрическая стабильность:** определяет стабильность электрических характеристик при воздействии токовых, тепловых, механических нагрузок;

- **коэффициент теплового расширения:** не должен резко отличаться от КТР соединяемых материалов для снижения термомеханических напряжений;
- **коэффициент теплопроводности:** важен в задачах, где требуется отвод тепла. Теплопроводность низкотемпературных припоев составляет от 10 до 86 Вт/мК;
- **различие в температурах ликвидуса и солидуса:** при переходе от точки солидуса к точке ликвидуса даже небольшое механическое воздействие приводит к нарушению кристаллической структуры припоя, что может сделать его более хрупким и увеличить его электрическое сопротивление;
- **Коррозионная стойкость:** коррозия приводит к увеличению электрического сопротивления и уменьшению прочности паяного соединения;
- **доступные формы припоя:** припои изготавливаются в виде проволоки, лент, паст, слитков и готовых преформ (прокладок);
- **стоимость:** зависит от состава и чистоты сплава.

Современная промышленность предоставляет широчайший выбор сплавов. Это позволяет решать специфические задачи, возникающие перед разработчиками и технологами при создании новых устройств и отработке технологии. Основная проблема, возникающая при этом – поиск наиболее подходящего сплава для конкретной задачи.

## ПАЙКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Пайка – процесс соединения двух различных деталей при помощи специального припоя. Особенностью пайки является то, что припой находится в жидком состоянии, а соединяемые компоненты в твердом.

Пайка металлических поверхностей происходит в три этапа. На первом этапе припой смачивает поверхности соединяемых деталей. На втором этапе происходит взаимное растворение смоченного материала и припоя или их взаимная диффузия. После охлаждения припой переходит в твердое состояние.

На качество процесса пайки влияет чистота паяемых поверхностей и качество припоя. Присутствие окислов снижает смачиваемость или делает его невоз-

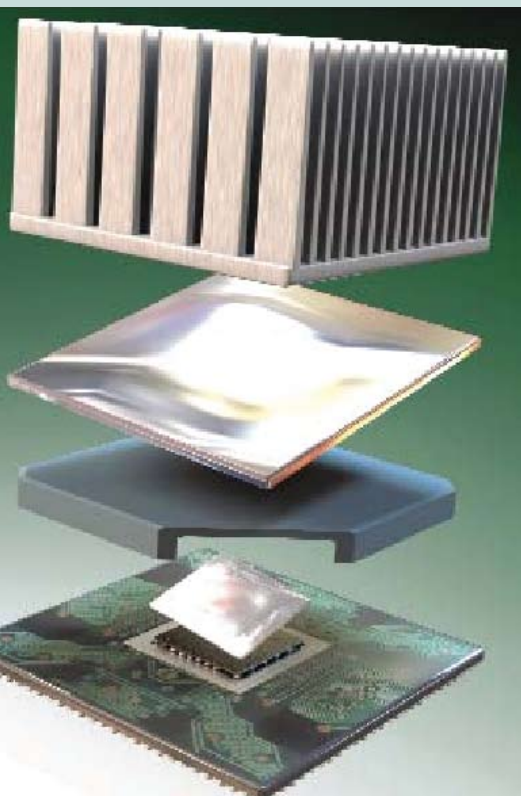
можным вовсе. Для удаления окислов используется флюс или специальная восстановительная атмосфера (водород, формир-газ(водород/азот)).

Параметров для выбора необходимого припоя множество. При возникновении новой задачи или при выборе альтернативного решения в некоторых случаях требуется экспериментальное исследование и анализ.

В качестве примера можно рассмотреть один из важнейших критериев при выборе сплава для пайки – совместимость металлов. Если, например, пайка осуществляется к поверхностям, покрытым золотом, то особое внимание следует уделять выбору сплава и толщине золотого покрытия. При толщине золота менее 0,5 мкм могут использоваться стандартные сплавы (например 63Sn37Pb), но если золотое покрытие имеет толщину более 1 мкм, то пайка оловосодержащими припоями приводит к образованию хрупких интерметаллических соединений. В таких случаях олово в припое заменяется индием (если рабочая температура конечного изделия не превышает 125°C) или используется традиционный припой 80Au20Sn (в случае рабочих температур выше 125°C). Хотя физические и электрические характеристики этих припоев, как правило, известны и в ряде случаев хорошо изучены, не всегда можно ответить на такие вопросы, как: поведение припоя при термоциклировании или при воздействии сверхнизких температур, стабильность электрических параметров, возможные паразитные эффекты и т.д. Необходимо проводить испытания и анализ.

Другим примером может служить использование специальных сплавов в создании медицинских электронных устройств. Наиболее популярным металлом для создания катетеров и различных имплантов является сплав никель/титан. В связи с этим возникает задача выбора подходящего припоя для пайки данного материала. Известно, что лучшими характеристиками по смачиваемости поверхности никель/титан являются сплавы 96,5Sn3,5Ag, 80Au20Sn и другие золотосодержащие сплавы. Но для того, чтобы ответить на вопрос, какой из сплавов является наиболее подходящим решением для данной задачи, необходимо проводить испытания на токсичность





этих сплавов и, что самое важное, необходимо подобрать флюс, который должен хорошо устранять оксиды с поверхности никеля/титана и обязательно полностью удаляться в процессе отмывки. Подобные задачи требуют экспериментального поиска подходящего сплава и отработки технологии его использования.

### ПАЙКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Пайка неметаллических поверхностей может осуществляться с помощью индий-содержащих припоев. Индий смачивает такие неметаллические поверхности, как: стекло, глазурированная керамика, слюда, кварц и различные оксиды металлов. Связь между припоем и неметаллической поверхностью образуется за счёт адгезии естественного оксида индия, толщина которого на открытом воздухе составляет 80–100 Ангстрем, к неметаллу. В процессе пайки в области контакта происходит формирование дополнительного оксида индия, за счёт чего и происходит соединение компонентов.

Поскольку для данного процесса необходимо присутствие оксида индия, то использование флюса недопустимо. В связи с этим перед процессом пайки необходимо тщательно очищать соединяемые поверхности с помощью отмывочных жидкостей, органических растворителей и деионизованной воды. В случае пайки стекла, кварца или глазурированной керамики адгезия существенно увеличивается после предварительного нагрева соединяемых поверхностей до 350°C.

Прочность паяного соединения для такого процесса, как правило, составляет 0,3–0,5 кгс/мм<sup>2</sup>. Для сравнения – прочность паяного соединения в технологии поверхностного монтажа с использованием Sn63(63Sn37Pb) составляет 5–7 кгс/мм<sup>2</sup>.

Основными сплавами для пайки неметаллических поверхностей являются: 52In48Sn, 100In, 90In10Ag и 97In3Ag. Первые два сплава обеспечивают наибольшую смачиваемость, третий и четвёртый – большую прочность из-за содержания серебра в составе. Таким образом, низкотемпературные сплавы на основе индия находят применение для пайки неметаллов и в некоторых специализированных задачах могут рассматриваться как альтернатива приклеиванию.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Высокие мощности электронных приборов вызывают их разогрев в процессе эксплуатации. Для надёжной работы тепло должно отводиться от компонентов так, чтобы температура этих компонентов не превышала допустимых значений. Перегрев существенно ухудшает характеристики приборов и сокращает время их жизни. Тепловой режим работы прибора обеспечивается отводом тепла от источника нагрева к радиатору и последующего его рассеяния.

Мягкие сплавы нашли широкое применение в создании теплопроводящих соединений благодаря высоким значениям теплопроводности (20 – 86 Вт/мК). Такие сплавы могут использоваться в качестве припоев для осуществления процесса пайки или в качестве сжимаемых прокладок, если в устройстве предусмотрена дополнительная механическая фиксация и прижим.

Сплавы, содержащие висмут, не подходят для создания теплопроводящих соединений из-за низкой теплопроводности и хрупкости. Сплав 80Au20Sn хорошо выдерживает нагрузки, но является довольно твёрдым и не подходит для соединения компонентов с существенным различием в коэффициентах теплового расширения (КТР).

Наиболее подходящими припоями для создания теплопроводящих слоёв являются индийсодержащие сплавы. Индий – мягкий металл с высокой теплопроводностью (86 Вт/мК), хорошо смачивает большинство поверхностей и не меняет своих свойств при термоциклировании.

Припои для создания теплопроводящего соединения, как правило, используются в виде лент или готовых прокладок (преформ).

При осуществлении пайки очень важно не допустить образования пор и пустот в паяном соединении, поскольку они снижают теплопроводящие свойства. Основной задачей здесь является выбор сплава, который должен хорошо смачивать паяемые поверхности. Помимо этого необходимо учитывать КТР соединяемых компонентов. Несоответствующие значения КТР могут приводить к нарушению паяного соединения, поэтому для создания теплопроводящих слоёв рекомендуется использовать мягкие припои.

Отдельно стоит сказать о флюсах. Качество и тип флюса очень важны, поскольку флюс является основной причиной образования пор в паяном соединении. В связи с этим рекомендуется использовать флюс с минимальными остатками после пайки.

Другим типом теплопроводящего соединения является прижимная конструкция, в которой мягкие сплавы используются без расплавления только за счёт механической фиксации и давления. В этом случае мягкие сплавы используются в качестве сжимаемых теплопроводящих прокладок (тепловых пружин).

Основными металлами здесь являются индий и сплавы на его основе. Данные сплавы помещаются между двумя поверхностями и сжимаются под действием внешней силы. При этом происходит заполнение всех неровностей, присутствующих на поверхностях соединяемых компонентов, и создание качественного теплового контакта.

Основными преимуществами тепловых пружин являются:

- высокая теплопроводность;
- отсутствие необходимости оплавления;
- отсутствие флюса;
- возможность ремонта;
- отсутствие загрязнений;
- множество различных вариантов упаковки.

Наибольшей популярностью для получения качественного теплового контакта пользуются мягкие сплавы на основе индия. Данные сплавы используются для создания паяного соединения или в качестве теплопроводящих прокладок в прижимной конструкции.

## герметизация электронных устройств

Герметизация электронных микросхем и полупроводниковых приборов осуществляется с помощью присоединения крышки корпуса к его основанию методами сварки, пайки или прижима.

Низкотемпературные сплавы используются для создания герметичного соединения путём припаивания крышки корпуса к его основанию или механического прижима. Металлические сплавы обеспечивают наивысший уровень герметичности по сравнению с остальными типами материалов. Здесь важно учитывать все особенности сплавов и условий эксплуатации, о

которых мы говорили в самом начале.

Прижимная конструкция требует герметизирующих прокладок. Материалы прокладок должны быть мягкими для заполнения всех шероховатостей поверхности. Основным материалом в данном случае является индий. Этот металл, благодаря своей пластичности, сохраняет свойства даже при очень низких температурах и обеспечивает высокий уровень герметичности. Поэтому индий нашёл широкое применение в криогенной технике. Иногда используются индийсодержащие сплавы, но добавление других элементов (Pb, Sn или Ag) снижает пластические свойства индия и, как следствие, возможность формирования герметичного контакта. Низкотемпературные сплавы традиционно используются для создания герметичных соединений методами пайки или прижима. Основными сплавами для таких задач являются сплав 80Au20Sn и сплавы, содержащие индий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная промышленность предоставляет большой выбор различных сплавов для создания механических, электрических, тепловых и герметизирующих контактов. Свойства специальных сплавов, их характеристики и поведение в новых условиях эксплуатации подчас остаются неизвестными. Поэтому многие задачи, возникающие в процессе производства, требуют проведения экспериментальных исследований и отработки технологии.

Широкий выбор доступных сплавов позволяет с максимальной эффективностью решать сложные и специализированные задачи. И существенную роль здесь играет возможность получения различных сплавов в небольших количествах.

Чтобы помочь производителям в выборе подходящих сплавов для решения специализированных задач и отработки технологии, компания Indium разработала наборы сплавов для испытаний. Наборы включают в себя более 20 различных сплавов в виде паяльных паст, лент или проволоки, а также несколько типов флюсов. В дополнение к этому компания Indium предлагает набор сжимаемых прокладок (тепловых пружин) для создания теплового контакта в прижимной конструкции. Наборы Indium дают возможность повысить эффективность и качество решения специализированных задач.

