

4 Физическая сущность процесса пайки. Материалы для пайки. Способы пайки. Типы паяных соединений

Пайкой называется технологический процесс соединения металлических заготовок без их расплавления посредством введения между ними расплавленного промежуточного металла — припоя. Припой имеет температуру плавления более низкую, чем температуру соединяемых металлов, и заполняет зазор между соединяемыми поверхностями за счет действия капиллярных сил. При охлаждении припой кристаллизуется и образует прочную связь между заготовками. В процессе пайки наряду с нагревом необходимо удалять оксидные пленки с поверхности паяемых металлов.

Процесс пайки включает нагрев материала, образующего соединение, до температуры, близкой к температуре плавления припоя; расплавление и растекание жидкого припоя по поверхности твердого материала; заполнение паяемого шва; охлаждение и кристаллизацию припоя в паяном шве. Качество паяного шва во многом зависит от прочности связи припоя с металлом основы. В результате смачивания твердой металлической поверхности между припоем и основным металлом возникает межатомная связь. Эта связь может образоваться: при растворении металла основы в расплавленном припое с образованием жидкого раствора, распадающегося при последующей кристаллизации; за счет диффузии составляющих припой элементов в основной твердый металл с образованием твердого раствора; за счет реактивной диффузии между припоем и основным металлом с образованием по границе интерметаллических соединений; за счет без- диффузионной связи в результате межатомного взаимодействия.

По особенностям процесса и технологии пайку можно разделить на капиллярную, диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую и сварку-пайку.

Капиллярная пайка. Припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. На рисунке 2.54 показана схема образования шва. Соединение образуется в результате растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора.

Капиллярную пайку используют в тех случаях, когда применяют соединение внахлестку. Однако капиллярное явление присуще большинству видов пайки.

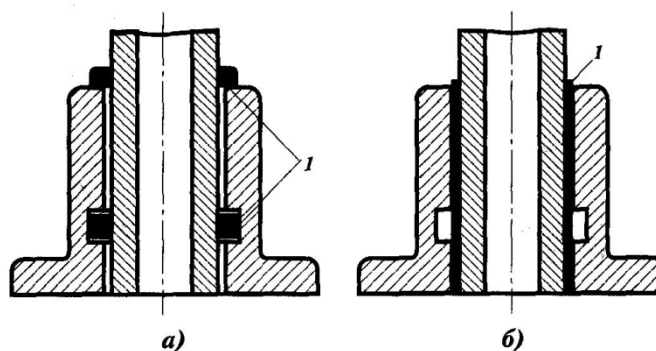


Рисунок 2.54 - Схема капиллярной пайки: а — перед пайкой; б — после пайки;
1 — припой

Диффузионная пайка. Соединение образуется за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяных материалов, причем возможно образование в шве твердого раствора или тугоплавких хрупких интерметаллов. Для диффузионной пайки необходима продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва и после завершения процесса при температуре ниже солидуса припоя. За счет этого можно увеличить прочность шва и температуру распая, а значит, и рабочую температуру соединения.

Контактно-реактивная пайка. При пайке между соединяемыми металлами или соединяемыми металлами и прослойкой другого металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение. На рис. 37.2 показана схема контактно-реактивной пайки.

Реактивно-флюсовая пайка. Припой образуется за счет реакции вытеснения между основным металлом и флюсом. Например, при пайке алюминия с флюсом $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ восстановленный цинк является припоем. Реактивно-флюсовую пайку можно вести без припоя и с припоем.

Сварка-пайка. Паяное соединение образуется так же, как при сварке плавлением, но в качестве припоя используется расплавленный металл одной из соединяемых деталей — той, металл которой наименее тугоплавкий и который частично расплавляется в месте соединения.

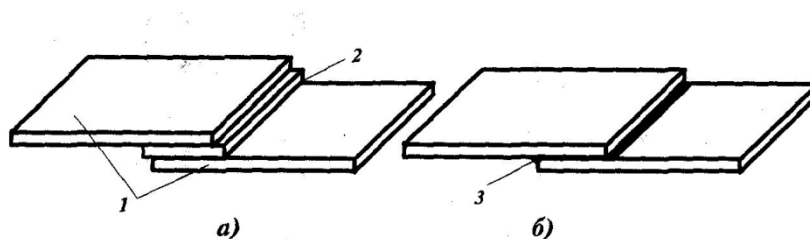


Рисунок 2.55 - Схема контактно-реактивной пайки: *a* — перед пайкой; *б* — после пайки; 1 — медь; 2 — серебро; 3 — эвтектический сплав меди с серебром

Материалы для пайки

Припой. Припои для пайки должны отвечать следующим требованиям:

- температура их плавления должна быть ниже температуры плавления паяемых материалов;
- они должны хорошо смачивать паяемый материал и легко растекаться по его поверхности;
- они должны быть достаточно прочными и обеспечивать герметичность;
- коэффициенты термического расширения припоя и паяемого материала не должны резко различаться;
- припои должны иметь высокую электропроводность при паянии радиоэлектронных и токопроводящих изделий.

Все припои по температуре плавления подразделяют на низкотемпературные (температура плавления ниже 500 °С), или мягкие, и высокотемпературные (температура плавления выше 500 °С), или твердые. Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, спиралей, колец, дисков, зерен, укладываемых в место соединения.

К низкотемпературным, или мягким, припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, кадмия, цинка, олова, свинца. К высокотемпературным, или твердым, припоям относятся медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной).

Изделия из алюминия и его сплавов паяют с припоями на алюминиевой основе с кремнием, медью, оловом и другими металлами.

Магний и его сплавы паяют с припоями на основе магния с добавками алюминия, меди, марганца и цинка.

Изделия из коррозиестойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (выше 500 °С), паяют припоями на основе железа, марганца, никеля, кобальта, титана, циркония, гафния, ниобия и палладия.

Легкоплавкие припои широко применяют во всех отраслях промышленности и в быту. Они представляют собой сплавы на основе олова, свинца, кадмия и висмута. Наибольшее распространение получили оловянно-свинцовые припои, отличающиеся высокой смачивающей способностью, хорошим сопротивлением коррозии, хорошей электропроводностью.

Из тугоплавких (твердых) припоев широко применяют медно-цинковые и серебряные припои с добавками олова, марганца, алюминия, железа и других металлов.

Медно-цинковые припои выпускают трех марок: ПМЦ-36 — для паяния латуни, содержащей 60—68 % Cu; ПМЦ-48 — для паяния медных сплавов, содержащих свыше 68 % Cu; ПМЦ-54 — для паяния бронзы, меди и стали. В обозначении марки цифры указывают на процентное содержание меди. Медно-цинковые припои плавятся при 700—830 °С.

Соединения, паянные медью и припоями на ее основе, имеют высокую коррозионную стойкость и, как правило, высокие механические свойства. Температура паяния припоями на основе меди составляет 900—1130 °С.

Серебряные припои изготавливают следующих марок: ПСр72, ПСр50Кд, ПСр3Кд, ПСр2 и др. Цифры в обозначении марки указывают на процентное содержание серебра; буквосочетание «Кд» означает кадмий. Серебряные припои плавятся при температуре 630—1000 °С.

Флюс. Возможное окисление соединяемых поверхностей при нагревании предотвращается флюсом, который создает жидкую и газообразную защиту зоны пайки от окружающего воздуха. Кроме этого, флюс очищает поверхности паяемых заготовок от окисных пленок и способствует лучшему заполнению расплавленным припоем зазоров между спаиваемыми заготовками.

Для паяния мягкими припоями применяют различные сложные флюсы, в состав которых входят хлорид цинка, ортофосфорная кислота, глицерин, вазелин, спирт, канифоль и др. Часто при выполнении монтажных соединений в качестве флюса используют канифоль без каких-либо добавок.

При паянии твердыми припоями флюсом часто служит бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) в виде порошка или пасты, замешенной на воде или спирте.

Флюс (кроме реактивно-флюсовой пайки) не должен химически взаимодействовать с припоем. Температура плавления флюса должна быть

ниже температуры плавления припоя. Флюс в расплавленном и газообразном состояниях должен способствовать смачиванию поверхности основного металла расплавленным припоем. Флюсы могут быть твердые, пастообразные, жидкие и газообразные.

Наиболее распространенными паяльными флюсами являются бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и борная кислота (H_3BO_3), хлористый цинк (ZnCl_2), фтористый калий (KF) и другие галлоидные соли щелочных металлов.

Способы пайки

За основу классификации способов пайки могут братья разные признаки: по удалению оксидных пленок, по характеру кристаллизации полного шва, по получению припоя, по заполнению зазора, по источнику нагрева при пайке. Наибольшее распространение получила классификация, в основу которой положены используемые источники нагрева.

Пайка в печах. Нагревают соединяемые заготовки в специальных печах: электросопротивлением, с индукционным нагревом, в газопламенных и газовых. Припой заранее закладывают в шов собранного изделия, на место пайки наносят флюс и затем помещают в печь, где это изделие нагревают до температуры пайки. Припой расплавляется и заполняет зазоры между соединяемыми заготовками. Процесс пайки продолжается несколько часов.

Этот способ обеспечивает равномерный нагрев соединяемых деталей, без заметной их деформации.

Крупные детали паяют в камерных печах с неподвижным подом, большую партию мелких деталей — в печах с сетчатым конвейером или роликовым подом. Пайка в печах позволяет механизировать паяльные работы и обеспечивает стабильное качество изделий и высокую производительность труда.

Индукционная пайка. Паяемый участок нагревают в катушке-индукторе. Через индуктор пропускают ТВЧ, в результате чего место пайки нагревается до необходимой температуры. Для предохранения от окисления изделие нагревают в вакууме или в защитной среде с применением флюсов. Индуктор выполнен в виде петли или спирали из красной меди. Формы и размеры индуктора зависят от конструкции паяемого изделия. Различают две разновидности пайки с индукционным нагревом: стационарную и с относительным перемещением индуктора или детали.

Пайка сопротивлением. Соединяемые заготовки нагревают теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через паяемые детали и токоподводящие элементы. Соединяемые детали являются частью электрической цепи. Нагрев сопротивлением можно осуществлять на

контактных сварочных машинах. С нагревом в контактных сварочных машинах паяют тонкостенные изделия из листового материала или при соединении тонкостенных элементов с толстостенными.

Пайка погружением. Эту пайку выполняют в ваннах с расплавленными солями или припоями. Соляная смесь обычно состоит из 55 % $KSCl$ и 45 % $NaSCl$, температура ванны — 700—800 °С. На паяемую поверхность, предварительно очищенную от грязи и жира, наносят флюс, между кромками или около места соединения размещают припой, затем детали скрепляют и погружают в ванну. Соляная ванна предохраняет место пайки от окисления. Перед погружением в ванну с расплавленным припоем покрытые флюсом детали нагревают до 550 °С. Поверхности, не подлежащие пайке, защищают от контакта с припоем специальной обмазкой из графита с добавками небольшого количества извести. Пайку погружением в расплавленный припой используют для стальных, медных и алюминиевых твердых сплавов, деталей сложных геометрических форм. На этот процесс расходуется большое количество припоя. Разновидностью пайки погружением является пайка бегущей волной припоя, когда расплавленный припой подается насосом и образует волну над расплавом. Паяемую деталь перемещают над уровнем расплава в горизонтальном направлении. В момент касания волны припоя происходит пайка. Бегущей волной паяют в радиоэлектронной промышленности при производстве печатного радиомонтажа.

Пайка с радиационным нагревом. Пайку выполняют за счет излучения кварцевых ламп, расфокусированного электронного луча или мощного светового потока от квантового генератора (лазера).

Конструкцию, подлежащую пайке, помещают в специальный контейнер, в котором создают вакуум. После вакуумирования контейнер заполняют аргоном и помещают в приспособление, с двух сторон устанавливая для обогрева кварцевые лампы. После окончания нагрева кварцевые лампы отводят, а приспособление вместе с деталями охлаждают. При применении лазерного нагрева сосредоточенная в узком пучке тепловая энергия обеспечивает испарение и распыление окисной пленки с поверхности основного металла и припоя, что позволяет получать спаи в атмосфере воздуха без применения искусственных газовых сред. При радиационном способе пайки лучистая энергия превращается в тепловую непосредственно в материале припоя и паяемых деталей.

Газоплазменная пайка. Паяемые заготовки нагревают и расплавляют припои газосварочными и плазменными горелками. Газовые горелки

обладают наибольшей универсальностью. В качестве горючих газов используют ацетилен, природные газы, водород, пары керосина и т. п.

При использовании газового пламени припой можно заранее помещать у места пайки или вводить в процессе пайки вручную. На место пайки предварительно наносят флюс в виде жидкой пасты, разведенной водой или спиртом; конец прутка из припоя также покрывают флюсом.

Нагревают также паяльными лампами, которые по существу являются газовыми горелками, работающими на жидком топливе. Паяльные лампы используют для работы в полевых условиях или в ремонтных мастерских.

Плазменной горелкой, обеспечивающей более высокую температуру нагрева, паяют тугоплавкие металлы — вольфрам, тантал, молибден, ниобий и др.

Пайка паяльниками. Основной металл нагревают и припой расплавляют за счет теплоты, аккумулированной в массе металла паяльника, который перед пайкой или в процессе ее подогревают. Для низкотемпературной пайки применяют паяльники с периодическим нагревом, с непрерывным нагревом, ультразвуковые и абразивные. Рабочую часть паяльника выполняют из красной меди. Паяльник с периодическим нагревом в процессе работы периодически подогревают от постороннего источника теплоты. Паяльники с постоянным нагревом делают электрическими. Нагревательный элемент состоит из нихромовой проволоки, намотанной на слой асбеста, слюды или на керамическую втулку, устанавливаемую на медный стержень паяльника. Паяльники с периодическим и непрерывным нагревом чаще используют для флюсовой пайки черных и цветных металлов мягкими припоями с температурой плавления ниже 300-350 °С.

Ультразвуковые паяльники применяют для бесфлюсовой низкотемпературной пайки на воздухе и для пайки алюминия. Оксидные пленки разрушаются в этом случае за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Абразивными паяльниками можно паять алюминиевые сплавы без флюса. Оксидная пленка удаляется в результате трения паяльника об обрабатываемую поверхность. Абразивный паяльник в отличие от электропаяльника имеет рабочий стержень, изготовленный прессованием из порошка припоя и измельченного асбеста.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой электрическая дуга как источник нагрева при сварке?
2. Каково назначение покрытия электродов для ручной дуговой сварки?
3. Какие источники питания используют для дуговой сварки и каковы требования к ним?
4. Каковы особенности автоматической сварки под флюсом и электрошлаковой сварки?
5. Каковы различия в защите расплавленного металла при аргонодуговой сварке и сварке в углекислом газе?
6. Каковы области применения электронно-лучевой и лазерной сварки?
7. Каково устройство инжекторной горелки для газовой сварки?
8. Назовите основные условия обеспечения процесса газокислородной резки металлов.
9. Каковы особенности кислородно-флюсовой резки?
10. Каково назначение наплавки и напыления в промышленности? Чем они отличаются друг от друга?
11. Какова сущность процесса пайки и каковы ее особенности по сравнению со сваркой?
12. По каким признакам и как классифицируют методы пайки?
13. Какие материалы необходимы для пайки?
14. Перечислите методы пайки по способу нагрева.
15. Какие типы соединений рекомендованы для пайки?