

Тема: ПАЙКА МЕТАЛЛОВ

1. Физическая сущность процесса пайки
2. Материалы для пайки
3. Способы пайки

1. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПАЙКИ

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 температура 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 удаление окисных пленок с поверхности паяемых металлов.

Образование соединения без расплавления кромок обеспечивает возможность распая, т.е. разъединения паяемых заготовок без нарушения исходных размеров и формы элементов конструкции.

Процесс образования паяного шва состоит из прогрева материала, образующего соединение, до температуры, близкой к температуре плавления припоя; расплавления припоя; растекания жидкого припоя по поверхности твердого материала и заполнение паяемого шва; охлаждения и кристаллизации 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 на границе интерметаллических соединений; за счет бездиффузионной связи в результате межатомного взаимодействия.

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

Классификация видов пайки

Капиллярная пайка. Припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. На рис. 1 показана схема образования шва. Соединение образуется за счет растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют в тех случаях, когда применяют соединение внахлестку. Однако капиллярное явление присуще всем видам пайки.

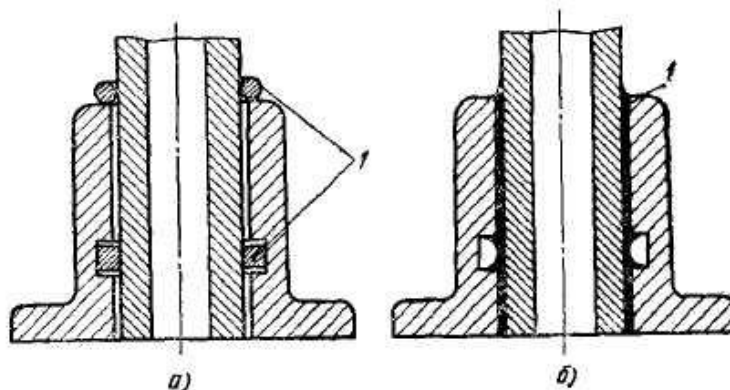


Рис. 1. Схема капиллярной пайки:
а) перед пайкой; б) после пайки; 1 – припой

Диффузионная пайка. Соединение образуется за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяемых материалов, причем возможно образование в шве твердого раствора или тугоплавких хрупких интерметаллов. Для диффузионной пайки необходима продолжительная выдержка при температуре образования единого шва и после завершения процесса при температуре ниже солидуса припоя.

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. 2 показана схема контактно-реактивной пайки.

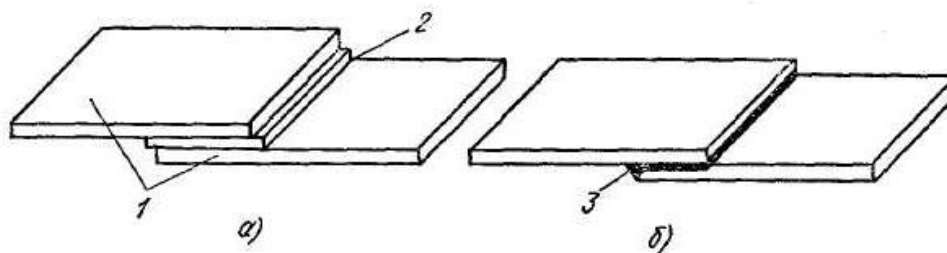


Рис. 2. Схема контактно-реактивной пайки:
а) перед пайкой; б) после пайки;
1 – медь; 2 – серебро; 3 – эвтектический сплав меди с серебром.

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

Пайка-сварка. Паяное соединение образуется так же, как при сварке плавлением, но в качестве присадочного металла применяют припой.

Наибольшее применение получила капиллярная пайка и пайка-сварка. Диффузионная пайка и контактно-реактивная более трудоемки, но обеспечивают высокое качество соединения и применяются, когда в процессе пайки необходимо обеспечить минимальные зазоры. Качество паяных соединений (прочность,

герметичность, надежность и др.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, величины зазоров, типа соединения.

2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАЙКИ

Припой заполняют зазор в расплавленном состоянии между соединяемыми заготовками. Они должны отвечать следующим требованиям:

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

Все припои по температуре плавления подразделяют на низкотемпературные (температура плавления ниже 500 °С), или мягкие припои, и высокотемпературные (температура плавления выше 500 °С), или твердые припои. Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, спиралей, колец, дисков, зерен и т.д., 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 коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (выше 500 °С), паяют с припоями на основе железа, марганца, никеля, кобальта, титана, циркония, гафния, ниобия и палладия.

Паяльные флюсы. Эти флюсы применяют для очистки поверхности паяемого металла, а также для снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания и смачиваемости жидкого припоя.

Флюс (лат. Fluxus — поток, течение) — вещества (чаще смесь) органического и неорганического происхождения, предназначенные для удаления оксидов с паяемых поверхностей, снижения поверхностного натяжения, улучшения растекания жидкого припоя и/или защиты от действия окружающей среды.

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.

3. СПОСОБЫ ПАЙКИ

Способы пайки классифицируют в зависимости от используемых источников нагрева. Наиболее распространены в промышленности пайка в печах, индукционная, сопротивлением, погружением, радиационная, горелками, экзофлюсовая, паяльниками, электронагревательными металлами и блоками.

Пайка в печах

Нагревают соединяемые заготовки в специальных печах: электросопротивления, с индукционным нагревом, 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 ток высокой частоты (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 при изготовлении тонкостенных изделий 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% KCl и 45% HCl . 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 подлежащий пайке, предохраняют 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 припоев. Разновидностью пайки погружением является пайка бегущей волной припоя, когда расплавленный припой подается насосом и образует волну над уровнем расплава. Паяемая деталь перемещается в горизонтальном направлении. В момент касания ванны 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 его 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. Этот способ пайки непродолжителен.

Экзофлюсовая пайка

В основном этим способом паяют коррозионно-стойкие стали. На очищенное место соединения наносят тонкий порошкообразный слой флюса. Соединяемые поверхности совмещают, на противоположные стороны заготовок укладывают экзотермическую смесь. Смесь состоит из разных компонентов, которые укладывают в форме пасты или брикетов толщиной в несколько миллиметров. Собранную конструкцию устанавливают в приспособлении и помещают в специальную печь, в которой происходит зажигание экзотермической смеси при 500 °С.

В результате экзотермических реакций смеси температура на поверхности металла повышается и происходит расплавление припоя. Этим методом паяют соединения внахлестку и готовые блоки конструкций небольших размеров.

Газопламенная пайка

Паяемые заготовки нагревают и расплавляют припой газосварочными и плазменными горелками. Газовые горелки обладают наибольшей универсальностью. В качестве горючих газов используют ацетилен, природные газы, кислород, 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 т.п.

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 легкоплавкими припоями. Окисные пленки разрушаются за счет колебаний ультразвуковой частоты.

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

Типы паяных соединений

Основными типами паяных соединений являются стыковое и внахлестку. Остальные разновидности соединений являются комбинациями перечисленных. Например, плоские элементы могут быть соединены внахлестку (рис. 3, а), ступенчатым (рис. 3, б), гребенчатым (рис. 3, в), косостыковым (рис. 3, г), стыковым (рис. 3, д) и тавровым (рис. 3, е) соединениями.

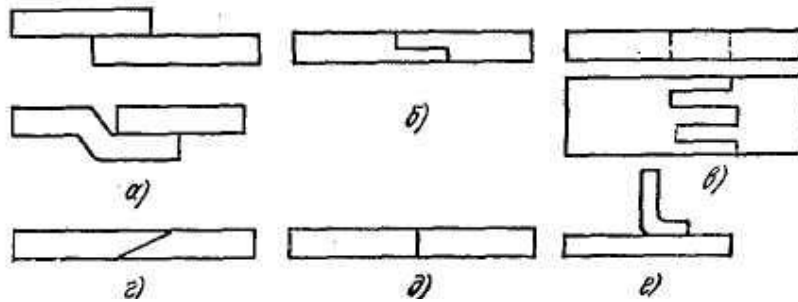


Рис. 3. Типы паяных соединений

Стыковое соединение применяют в тех случаях, когда изделие работает не в жестких условиях и от него не требуется герметичности; соединение внахлестку — во всех остальных случаях, причем чем больше площадь перекрытия паяемых заготовок, тем выше будет прочность паяного шва.

Криволинейные поверхности соединяют между собой и с плоскими поверхностями в сотовых конструкциях, в панелях с гофрированными проставками и т.п. Эти соединения используют в самолетостроении и для изготовления теплообменников.

К паяным соединениям в зависимости от назначения изделия, кроме общих требований, могут быть предъявлены и специальные по герметичности, электропроводности, коррозионной стойкости и т.п. Сборные части изделий перед пайкой должны быть прочно соединены между собой для предотвращения перекосов и относительных смещений. Способы соединения подбирают экспериментальным путем в зависимости от конструкции изделия