

# ОПД 06 Процессы формообразования и инструменты

## Тема: Пайка металлов и сплавов. Контроль качества сварных и паяных соединений

### Задание для студентов

1. Ознакомиться с теоретическим материалом (не переписывать!)
2. Ответить на контрольные вопросы
3. Предоставить **ответы на вопросы** в электронном виде на проверку.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна.*

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [ira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:ira.gnatyuk.60@inbox.ru)

## ЛЕКЦИЯ

### План

1. Пайка металлов и сплавов
2. Контроль качества сварных и паяных соединений

### 1. Пайка металлов и сплавов

#### 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 материалов, 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 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.

**Капиллярная пайка.** Припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. Соединение

образуется за счет растворения основы в жидким припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют в тех случаях, когда применяют соединение внахлестку.

**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 паянного 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.

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

**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.

## Материалы для пайки

**Припой.** Припой 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;
- должны быть достаточно прочными и герметичными;
- Коэффициенты термического расширения припоя и паяемого материала не должны резко различаться;
- Иметь высокую электропроводность при пайке радиоэлектронных и токопроводящих изделий.

Все припой по температуре плавления подразделяют на низкотемпературные (температура плавления ниже  $500^{\circ}\text{C}$ ), или мягкие припой, и высокотемпературные (температура плавления выше  $500^{\circ}\text{C}$ ), или твердые припой. Припой изготавливают в виде прутков, проволок, листов,

полос, спиралей, колец, дисков, зерен и т.д.,

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

Флюс (кроме реактивно-флюсовой пайки) не должен химически взаимодействовать с припоем, температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердыми, пастообразными, жидкими и газообразными.

Наиболее распространеными паяльными флюсами являются бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) и борная кислота ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), хлористый цинк ( $\text{ZnCl}_2$ ), фтористый калий ( $\text{KF}$ ) и другие галоидные соли щелочных металлов.

### **Способы пайки**

Способы пайки классифицируют в зависимости от используемых источников нагрева.

**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.

**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. 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 токоподводящие элементы. Соединяемые детали являются частями электрической цепи. Нагрев сопротивлением можно осуществлять на контактных сварочных машинах.

**Пайка погружением.** Эту пайку выполняют в ваннах с расплавленными солями или припоями. Соляная смесь обычно состоит из 55% $\text{KCl}$  и 45% $\text{HCl}$ . Температура ванны 700-800°C. 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 анну. Соляная ванна предохраняет место пайки от окисления. Перед погружением в ванну с расплавленным припоем покрытые флюсом

детали нагревают до 550°С. Пайку погружением в расплавленный припой используют для стальных, медных и алюминиевых твердых сплавов, деталей сложных геометрических форм.

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

Конструкцию помещают в специальный контейнер, в котором создают вакуум. Затем контейнер заполняют аргоном и помещают в приспособление, с двух его сторон устанавливают для обогрева квадровые лампы. После окончания нагрева квадровые лампы отводят, а приспособление вместе с деталями охлаждают. Этот способ пайки непродолжителен.

**Экзофлюсовая пайка** 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. Собранную конструкцию устанавливают в приспособлении и помещают в специальную печь, в которой происходит зажигание экзотермической смеси при 500°С.

**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, 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. Плазменной горелкой, обеспечивающей более высокую температуру нагрева, паяют тугоплавкие металлы – вольфрам, tantal, молибден, ниобий.

**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.

## 2. Контроль качества сварных и паяных соединений

Дефекты в соединениях бывают двух типов: *внешние* и *внутренние*. В сварных соединениях к внешним дефектам относят наплывы, подрезы, наружные непровары и несплавления, поверхностные трещины и поры (рисунок 41, а — г); к внутренним — скрытые трещины и поры, внутренние непровары и несплавления, шлаковые включения и др. (рисунок 41, д — ж). В паяных соединениях внешними дефектами являются наплывы и натеки припоя, неполное заполнение шва припоеем; внутренними — поры, включения флюса, трещины и др.

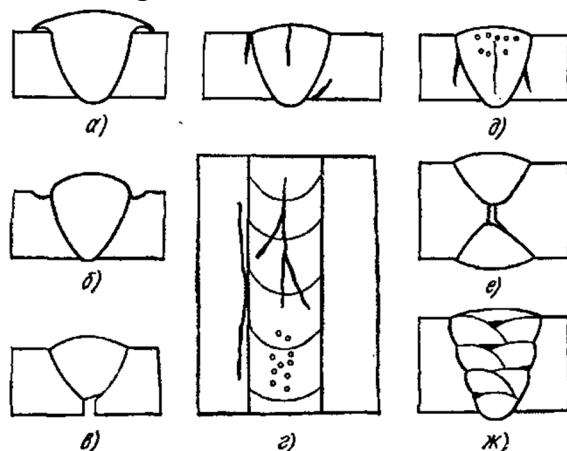


Рисунок 41 - Виды дефектов в сварных соединениях

Сварные и паяные соединения считаются качественными, если в них нет дефектов и их механические свойства удовлетворяют требованиям, предъявляемым в соответствии с условиями эксплуатации узла или конструкции. В зависимости от того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают *разрушающие* и *неразрушающие методы контроля*.

### Виды контроля

*Предварительный контроль материалов и заготовок.* При контроле основного и сварочных материалов устанавливают, удовлетворяют ли сертификатные данные в документах заводов-поставщиков требованиям, предъявляемым в соответствии с назначением и ответственностью сварных узлов и конструкций. Осматривают поверхности основного металла, сварочной проволоки и покрытий электродов с целью обнаружения внешних дефектов и повреждений.

*Текущий контроль за процессом сварки.* В процессе сварки проверяют соблюдение сварщиками установленных параметров режима сварки и исправность работы сварочного оборудования. Осматривают сварные швы для выявления внешних дефектов и замеряют их геометрические размеры.

Замеченные отклонения устраняют непосредственно в процессе изготовления конструкций.

*Окончательный контроль готовых сварных и паяных соединений.*

Готовые сварные соединения подвергают следующим видам контроля:

- внешнему осмотру для выявления поверхностных дефектов и обмеру сварных швов;
- испытаниям на плотность, магнитному контролю, просвечиванию рентгеновскими и гамма-лучами, ультразвуком и др. для выявлений внутренних дефектов.

Паяные соединения подвергают внешнему осмотру, испытаниям на плотность, магнитному и ультразвуковому контролю. Вид контроля и относительную протяженность контролируемых швов выбирают в зависимости от назначения и ответственности сварной или паяной конструкции.

На плотность испытывают емкости для хранения жидкостей, сосуды и трубопроводы, работающие при избыточном давлении, путем гидравлического и пневматического нагружения, керосином и с помощью течеискателей.

Магнитный контроль основан на намагничивании сварных или паяных соединений и обнаружении полей магнитного рассеивания на дефектных участках.

Рентгеновское просвечивание основано на различном поглощении рентгеновских лучей участками металла с дефектами или без них. Сварные соединения просвечивают с помощью специальных рентгеновских аппаратов.

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты позволяют просвечивать сварные соединения из стали толщиной 10—200 мм, алюминия до 300 мм, меди до 25 мм. Просвечиванием можно обнаружить большинство внутренних дефектов: крупные трещины, параллельные направлению рентгеновских лучей, непровары, поры и шлаковые включения. При этом фиксируют дефекты, размеры которых составляют 2% от толщины металла.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн отражаться от поверхности раздела двух сред.

Промышленные ультразвуковые дефектоскопы позволяют обнаруживать дефекты на глубине 1—2500 мм. При этом можно выявлять трещины, непровары, шлаковые включения, поры и другие дефекты с минимальной площадью ( $1—2 \text{ mm}^2$ ). Ультразвуковой метод, выявляя наличие дефекта и даже место его расположения, не позволяет установить его вид.

***Контрольные вопросы:***

1. В чем состоит процесс образования паяного шва?
2. Каким требованиям должны отвечать припой?
3. Дайте краткое описание видов пайки
4. Перечислите способы пайки
5. Как контролируется качество паяных соединений?