

**ЛЕКЦИЯ 7:** Общее представление о производстве металлов. Доменный процесс. Производство стали в мартеновских печах. Литейное производство. Специальные способы литья. Классификация видов обработки металлов давлением. Физико-химические основы получения сварного соединения. Пайка конструкционных материалов.

### **Доменный процесс**

Плавку железа в древности производили в ямах — горнах, обмазанных глиной или выложенных камнем. В горн загружали дрова и древесный уголь. Через отверстие в нижней части горна нагнетали с помощью кожаных мехов воздух. На смесь древесного угля и дров засыпали измельченную железную руду. Сгорание дров и угля проходило интенсивно, внутри горна достигалась относительно высокая температура. Благодаря взаимодействию угля и оксида углерода CO с оксидами железа руды железо восстанавливалось и в виде тестообразных кусков, загрязнённых золой и шлаком, накапливалось на дне горна. Такое железо называли **сыродутным**. Из него необходимо было удалить примеси прежде, чем приступить к изготовлению изделий. Разогретый металл ковали и на наковальне выжимали остатки шлака, примесей и др. Отдельные куски железа сваривали в единое целое. Такой способ существовал вплоть до XII—XIII веков. Когда стали использовать энергию падающей воды и приводить в движение меха механическим способом, удалось увеличить объём воздуха, подаваемого в горн. Горн сделали больше, стенки его выросли из земли, он стал прообразом доменной печи — **доминцей**.

**Сущность доменного процесса** заключается в восстановлении железа из его окислов, имеющих в руде; отшлаковании пустой породы и науглероживании восстановленного железа до чугуна (рисунок 1).

**Исходные материалы** (руда, топливо и флюсы) загружаются порциями в шахту домны через колошник в следующем порядке: топливо, руда, флюс. Порция этой смеси называется рудной **колошей**, а топливо, загружаемое отдельно, — **топливной колошей**.

Домну загружают периодически, по мере выплавки чугуна. В доменную печь, загруженную шихтой, через фурмы подают в большом количестве подогретый воздух, необходимый для поддержания горения топлива.

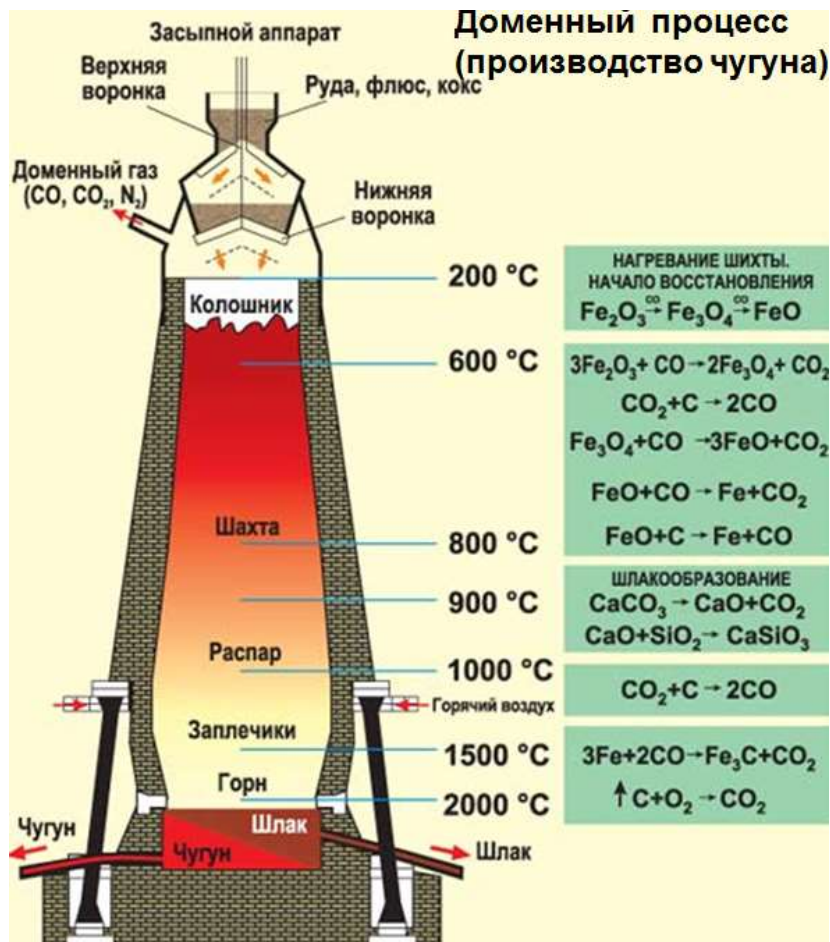


Рисунок 1. Доменный процесс

В доменном процессе участвуют два потока, движущиеся друг другу навстречу. Сверху вниз опускается шихта (руда, топливо и флюсы), а снизу вверх движется горячий воздух.

В передней части шахты, в подготовительном поясе, при температуре 400—600° из руды испаряется влага, руда разрыхляется и постепенно опускается в нижнюю часть шахты. В восстановительном поясе при температуре 600—800° окись углерода, образующаяся при сгорании топлива, соединяется с кислородом руды и восстанавливает чистое железо. Излишек окиси углерода, смешиваясь с другими газами, образует колошниковый газ,

используемый для подогрева воздуха или для других целей. Восстановленное в шахте железо попадает в цементирующий пояс, где при температуре 800—1000° науглероживается и превращается в чугун. В нижней части, в плавильном поясе, при температуре 1000—1700° чугун плавится, стекает в горн и по мере накопления выпускается через летку. Пустая порода соединяется с флюсом и образует шлак, выпускаемый через шлаковую летку.

Через определенные промежутки времени, 5—6 раз в сутки (в зависимости от размеров печи), производится выпуск чугуна. Для выпуска чугуна пневматическим ломом или электросверлом пробивают отверстие в летке и выпускают чугун по желобу в чугуновозные ковши емкостью 60 т.

После выпуска чугуна клетку забивают огнеупорной глиной при помощи специального приспособления, которое называется пушкой.

### **Производство стали в мартеновских печах**

Используя разработанный в 1856 году немецким инженером К. В. Сименсом принцип регенерации тепла продуктов горения, Мартен применил его для подогрева не только воздуха, но и газа. Благодаря этому удалось получить температуру, достаточную для выплавки стали. Первая плавка была осуществлена Марتنем на одном из французских заводов 8 апреля 1864 года. В период до семидесятых годов прошлого века мартеновский процесс являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200...900 т. Способ позволяет получать качественную сталь.

Мартеновская печь по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью (рисунок 2). В плавильном пространстве сжигается газообразное топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.

Современная мартеновская печь представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича.

Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной, сверху сводом. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. В передней стенке имеются загрузочные окна для подачи шихты и флюса, а в задней – отверстие для выпуска готовой стали.

Характеристикой рабочего пространства является площадь пода печи, которую подсчитывают на уровне порогов загрузочных окон. С обоих торцов плавильного пространства расположены головки печи, которые служат для смешивания топлива с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство. В качестве топлива используют природный газ, мазут.

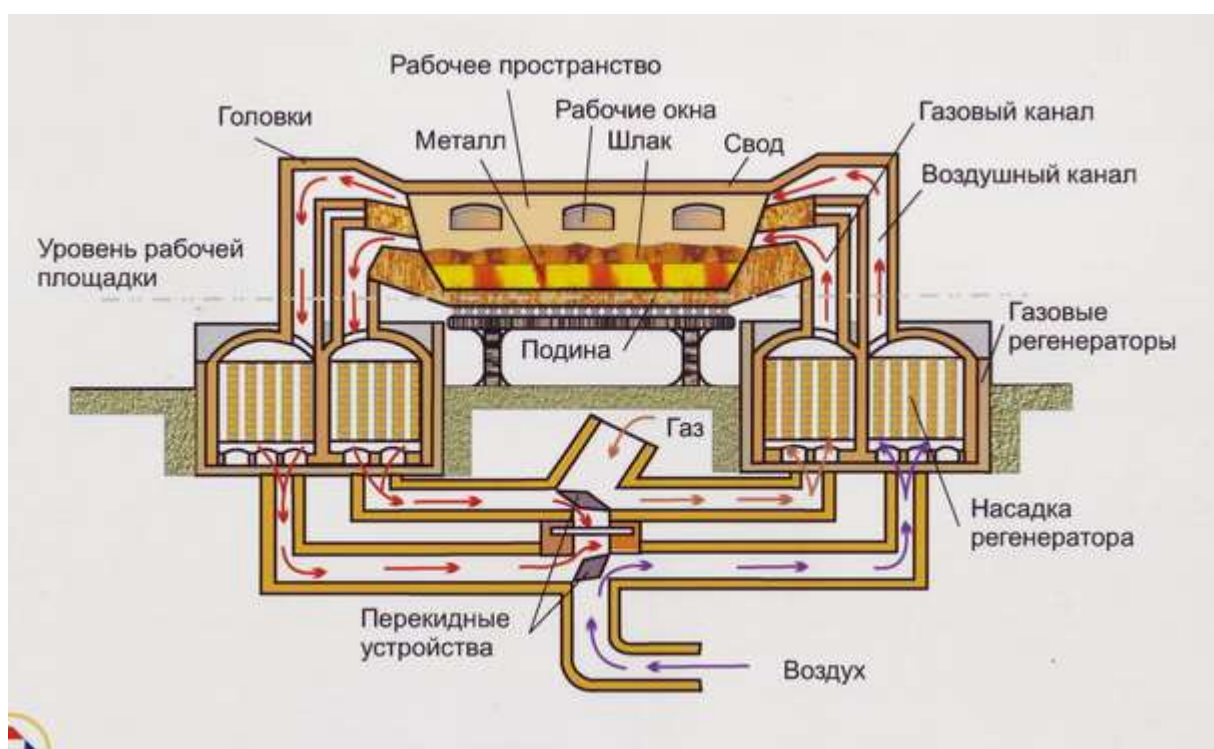


Рисунок 2. Устройство мартеновской печи

Для подогрева воздуха и газа при работе на низкокалорийном газе печь имеет два регенератора. Регенератор – камера, в которой размещена насадка – огнеупорный кирпич, выложенный в клетку, предназначен для нагрева воздуха и газов.

Отходящие от печи газы имеют температуру  $1500...1600^{\circ}\text{C}$ . Попадая в регенератор, газы нагревают насадку до температуры  $1250^{\circ}\text{C}$ . Через один из регенераторов подают воздух, который проходя через насадку нагревается до

1200<sup>0</sup>С и поступает в головку печи, где смешивается с топливом. Отходящие газы проходят через противоположную головку (левую), очистные устройства (шлаковики), служащие для отделения от газа частиц шлака и пыли и направляются во второй регенератор. Охлажденные газы покидают печь через дымовую трубу. После охлаждения насадки правого регенератора переключают клапаны, и поток газов в печи изменяет направление.

Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов. Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Отверстие плотно забивают малоспекающимися огнеупорными материалами, которые при выпуске плавки выбивают. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавов.

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

- скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25...45 % чушкового передельного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома;
- скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55...75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах.

В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора. Стали содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, ее используют для особо ответственных деталей:

коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

### **Литейное производство**

**Процесс литья** представляет собой заполнение расплавленным металлом имеющей форму получаемой отливки полости в термостойкой изложнице. Для получения внутренней пустоты в будущем изделии в изложнице устанавливается стержень.

Литейное дело включает в себя следующее:

- Изготовление модели изделия
- Изготовление изложницы и стержней, сборку изложницы
- Плавку и рафинирование металла
- Разливку металла в изложницу
- Охлаждение отливки
- Освобождение металлической отливки из изложницы и от стержня
- Удаление лишнего металла с полученной отливки

Основные принципы литейной технологии изменились незначительно за тысячи лет. Однако некоторые ее процессы стали механизированными, а отдельные – автоматизированными. На смену деревянным моделям пришли металлические и пластмассовые, разработаны новые материалы для производства стержней и изложниц, применяется широкий диапазон сплавов.

Наиболее известный литейный процесс - формование чугуна в песчано-глинистой смеси.

Чугун, сталь, латунь и бронза - традиционные для литья сплавы. В крупнейшем секторе литейной промышленности производятся отливки из серого чугуна и чугуна с шаровидным графитом. В цехах по производству серого чугуна используется перedefельный чугун для изготовления стандартных чугунных отливок. В цехах по производству чугуна с шаровидным графитом в ковши с расплавленным металлом перед его разливкой добавляются магний, церий или другие присадки (часто

называемые ковшовыми присадками). Они оказывают незначительное воздействие на персонал в рабочей зоне.

Остальную часть литейного сектора черной металлургии занимает производство стали и ковкого чугуна. Главные заказчики крупнейших заводов черной металлургии - автомобильная и строительная промышленность, производство сельскохозяйственных орудий. Количество рабочих, занятых в чугунолитейном производстве, сокращается по мере того, как уменьшаются размеры блоков цилиндров двигателей и их удается отливать в одной изложнице, а также в связи с вытеснением литейного чугуна алюминием. В производстве цветных металлов (особенно в алюминиевом) и литье под давлением занято значительное количество рабочих. Латунное производство (как общего профиля, так и по выпуску сантехнического оборудования) сокращается, однако остается важным с точки зрения профилактики профессиональных заболеваний.

В последние годы в литейном производстве используются титан, хром, никель, магний и даже такие высокотоксичные металлы как бериллий, кадмий и торий.

Хотя можно предполагать, что металлолитейная отрасль возникла при переплавке материала в виде болванок или чушек, процессы литья чугуна и стали на крупных установках могут быть настолько интегрированными, что деление становится менее очевидным. Например, доменная печь, производящая изделия для коммерческих целей, может быть переведена на выпуск передельного чугуна, но на интегрированном предприятии некоторая часть чугуна пойдет на получение отливок (участвуя, таким образом, в литейном процессе), а другая - на изготовление стали (при этом вероятно аналогичная картина: существует сталелитейное производство, известная как формование болванок). В обычном чугунолитейном производстве переплавка чушкового чугуна включает в себя и рафинирование. В литейном производстве цветных металлов подчас требуется добавление металлов и других веществ, что составляет процесс легирования.

В чугунолитейном деле в основном применяются изложницы из смеси кремнистого песка и глины. Редко используются стержни, традиционно изготавливаемые из спекаемой смеси кремниевого песка и растительных масел или сахарного песка. Разработаны новые методы производства изложниц и стержней.

### **Общее описание технологического процесса**

По чертежам конструкторов создается модель конечной металлической отливки. Таким же образом изготавливаются стержни, необходимые для получения внутренней конфигурации готового изделия. Литье в песчаные формы – наиболее широко используемый метод, но применяются и другие приемы. К ним относятся следующие: кокильное литье с использованием чугунных или стальных изложниц; литье под давлением (расплавленный металл – часто легкий сплав – подается в металлическую изложницу под давлением 70-7000); литье по выплавляемым моделям (для каждой отливки изготавливается восковая модель, покрываемая огнеупорным материалом, - она становится изложницей). Для получения алюминиевых отливок используются разовые шаблоны из вспененного полистирола в песчано-глинистой смеси (технология с "удаляемым полистиролом").

Металлы или сплавы подготавливаются в печи – вагранке, карусельной, отражательной, тигельной, электродуговой, индукционной электрической канального типа или индукционной тигельной (таблица 1). Выполняются соответствующие металлургические или химические анализы. Расплавленный металл заливается в собранную изложницу либо из ковша, либо непосредственно из печи. После охлаждения металла изложница и стержневой материал удаляются (выбивная решетка, стриппер, вставной постоянный стержень) и отливка очищается и отделяется (удаление литников и выпоров, дробеструйная очистка, гидроструйная очистка, а также другая абразивная отделка). В некоторых случаях отливки подвергаются окончательной доделке с помощью сварки, термообработки или покраски.



## Типы литейных печей

Печь	Описание
Вагранка	Высокая вертикальная печь, открытая сверху и имеющая откидное днище. Она загружается чередующимися слоями кокса, известняка и металла; расплавленный металл извлекается из нижней части. Особо вредные факторы: моно оксид углерода и высокая температура.
Электродуговая печь	Загружается болванками, металлоломом, сплавами металлов и флюсом. Дуга, расплавляющая металл, возникает между тремя электродами и шихтой. Поверхность расплавленного металла покрыта шлаком с флюсом для недопущения окисления, фришевания металла и защиты верхней части печи от перегрева. По завершении процесса электроды поднимаются, а печь наклоняется для выливания готового сплава в ковш. Особо вредные факторы: литейные газы и шум.
Индукционная печь	Металл расплавляется в ней при прохождении сильного тока через медную обмотку снаружи печи, в результате чего из-за высокого сопротивления возбуждаемому электрическому току шихта нагревается до температуры плавления. Плавка идет от наружных слоев шихты внутрь. Особо вредные факторы: литейные газы.
Тигельная печь	Тигель, в котором находится шихта, нагревается газовой или мазутной горелкой. По готовности сплава тигель поднимается из печи и наклоняется для разлива в формы. Особо вредные факторы: моно оксид углерода, литейные газы, шум и высокая температура.
Карусельная печь	Длинная наклонная вращающаяся цилиндрическая печь, которая загружается сверху и разогревается в нижней части.
Печь для канальной газификации	Вид индукционной печи.
Отражательная печь	Горизонтальная печь, состоящая из горна, который отделен от шихты перевальной стеной (называемой пламенным порогом), и из трубы на другом конце. Не допускается контакт металла с твердым топливом. Над горном и шихтой - арочный свод. На своем пути от горна до трубы пламя воздействует на находящийся под ним металл, расплавляя его.

**Классификация видов обработки металлов давлением**

В зависимости от того, с каким исходным сырьем приходится работать и какого результата необходимо добиться, выделяют несколько способов обработки: прокатка, прессование, волочение, штамповка, свободная ковка.

Все варианты используются в современной промышленности и производстве металлических изделий.

### **Обработка металлов прокаткой**

Данная технология обработки металлов давлением подразумевает его обжатие между двумя движущимися валками. Методом прокатки могут обрабатываться металлические листы или ленты, и в таком случае используются гладкие валки. Кроме того, технология подходит для производства деталей фасованного профиля, и тогда применяют ручьевые валки. В зависимости от наличия или отсутствия подогрева заготовки перед обработкой прокатка может быть горячей или холодной.

### **Прессование металлов**

Прессование подразумевает, что некоторое количество металла, заключенное в специальную форму, выдавливается из нее через отверстие за счет давления. Площадь отверстия должна быть меньше площади сечения исходного материала. В процессе прессования металл принимает вид прутка, форма и характеристики которого зависят от особенностей отверстия. Технология подходит для работы со свинцом, оловом, медью, алюминием, цинком, сплавами. Она проста, но высокоэффективна.

### **Волочение металлов**

Данный способ обработки подразумевает протягивание металлической заготовки через так называемый «волоочильный глазок» – постепенно сужающееся отверстие. В результате происходит увеличение длины заготовки и уменьшение ее поперечного сечения. Рабочим инструментом волоочильных станков является волока, а ее основной частью – волоочильный глазок. Этот процесс может осуществляться после предварительного нагрева заготовки или без него.

Технология волочения может использоваться для:

- получения проволоки малого диаметра;
- производства фасонных профилей для изготовления направляющих, шпонок и т.д.;

- производства тонкостенных труб;
- калибровки.

### **Обработка металлов штамповкой**

В соответствии с этой технологией обработка металлов давлением и придание им необходимых форм осуществляется в штампах, а, следовательно, определяется их конфигурациями. Штамповка предназначена для серийного производства заготовок, и осуществляется она на молотах или прессах. Может производиться как с предварительным нагревом, так и без нагрева заготовок. В зависимости от требований, предъявляемых к готовым изделиям, штамповка бывает листовой или объемной.

### **Свободная ковка металлов**

Свободная ковка плохо подходит для массового производства, но при изготовлении отдельных деталей она незаменима. Суть технологии заключается в том, что заготовку нагревают до необходимой температуры в специальной печи, а затем помещают на наковальню и придают ей требуемую форму и размеры ударами молота. Ковка может быть ручной или машинной – оба варианта востребованы сегодня на рынке.

### **Физико-химические основы получения сварного соединения**

**Сварочный процесс**, как и пайка, направлен на получение неразъемного соединения, которое возникает в случае установления связей между атомами свариваемых деталей на границе их раздела, аналогично связям, действующим в твердом теле.

**Сварка** определяется как процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании. В данном определении указывается и на физическую сущность процесса, и на технологические принципы его реализации.

Наиболее общим определением процесса сварки является ссылка на его термодинамическую сущность: **сварка** — это процесс получения неразъемного соединения материалов за счет термодинамически

необратимого превращения тепловой и механической энергии и вещества в стыке.

Процесс сварки включает две стадии: образование физического контакта между соединяемыми деталями и возникновение электронного взаимодействия между соединяемыми поверхностями. Далее происходит развитие диффузионных процессов. В идеальном случае сварка должна происходить после того, как соединяемые поверхности сблизилась на межатомные расстояния. На первой стадии сближения силы притяжения больше сил отталкивания, затем начинается процесс взаимного перекрытия электронных оболочек атомов и наблюдается резкое возрастание сил отталкивания. В дальнейшем сближение атомов будет сопровождаться интенсивным возрастанием сил отталкивания.

Образование неразъемного соединения в реальных условиях затруднено из-за наличия на поверхностях деталей микронеровностей, оксидных пленок, адсорбированных газов, различного рода загрязнений.

В зависимости от характера вводимой энергии все сварочные процессы (сварка, пайка, резка) можно отнести к **термическим, механическим и термомеханическим методам.**

**При термических методах** сварки с помощью внешнего источника нагрева кромки расплавляются, образуя так называемую сварочную ванну. Расплавление металла способствует его объединению в единое целое.

После прекращения поступления теплоты к сварочной ванне (удаление источника теплоты или его отключение) происходят быстрое охлаждение и последующая кристаллизация расплавленного металла при максимальном теплоотводе в стенки ванны. Процесс кристаллизации заканчивается образованием монолитного шва, который связывает свариваемые детали в единое целое. Аналогично при пайке благодаря кристаллизации припоя, заполняющего зазор между деталями и смачивающего нагретые поверхности, образуется паяное соединение.

**При механических методах** сварки необходимо приложить давление, под влиянием которого в месте сварки возникают значительные упругоэластические деформации, вызывающие разрушение оксидной пленки, смятие микронеровностей, обеспечение физического контакта и образование между атомами прочных связей, соответствующих связям при расстоянии между ними, равном параметру кристаллической решетки.

**При термомеханических методах** сварки металл в месте соединения деталей нагревается до температуры плавления или пластического состояния. Нагревание позволяет снизить удельное давление, уменьшить величину минимальной относительной деформации, необходимой для сварки.

В соответствии с термодинамическим определением процессов сварки основными признаками для их классификации должны служить вид вводимой энергии, наличие давления и вид инструмента — носителя энергии.

Кроме того, существует классификация и по другим признакам:

- а) по способу защиты металла в зоне сварки (сварка на воздухе, в вакууме, в защитном газе, под флюсом и т.п.);
- б) по непрерывности сварки (непрерывные и прерывистые, т.е. импульсные процессы);
- в) по степени автоматизации (ручная, механизированная, автоматическая);
- г) по технологическим признакам (по виду электрода, виду дуги, роду сварочного тока, полярности, типу и количеству электрических дуг и т.п.).

Следует отметить выдающийся вклад отечественных ученых в создание и развитие сварочных процессов. Приоритет открытия сварки принадлежит русским ученым-изобретателям Н. Н. Бенар-досу и Н. Г. Славянову. И в дальнейшем усилиями советских, а затем и российских ученых научно-технический уровень сварочного производства в нашей стране поддерживался на высоком уровне: появились новые технологические процессы сварки, сварочные материалы, современное оборудование для различных видов сварки. Большой прогресс был достигнут в автоматизации

сварочных процессов, в частности, путем широкого применения роботоманипуляторов, автоматизации на базе современной компьютерной техники технологической подготовки, значительно упрощающей и облегчающей труд технолога и конструктора.

### **Пайка конструкционных материалов**

**Пайка** – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой. Образование соединения без расплавления основного металла обеспечивает возможность распая соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.

### **Припои для пайки**

Припой должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. По температуре плавления припои подразделяют на особо легкоплавкие (температура плавления ниже 145 °С), легкоплавкие (145...450 °С), среднеплавкие (450...1100 °С) и тугоплавкие (выше 1050 °С). К особо легкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, олова, цинка, свинца. К среднеплавким и тугоплавким относятся припои медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен, которые укладывают в место соединения.

## **Флюсы для пайки**

При пайке применяются флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве сборочной единицы, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура, плавиковый шпат, борная кислота, канифоль, хлористый цинк, фтористый калий. Пайку точных соединений производят без флюсов в защитной атмосфере или в вакууме.

## **Технология пайки**

В зависимости от способа нагрева различают пайку:

- газовую;
- погружением (в металлическую или соляную ванну);
- электрическую (дуговая, индукционная, контактная);
- ультразвуковую.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют пайку с местным нагревом посредством паяльника или газовой горелки. В крупносерийном и массовом производстве применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки металлических и неметаллических материалов является использование ультразвука. Генератор ультразвуковой частоты и паяльник с ультразвуковым магнитострикционным вибратором применяются для безфлюсовой пайки на воздухе и пайке алюминия. Оксидная пленка разрушается за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва. Детали для пайки тщательно подготавливаются: их зачищают, промывают, обезжиривают. Зазор между сопрягаемыми

поверхностями обеспечивает диффузионный обмен припоя с металлом детали и прочность соединения. Зазор должен быть одинаков по всему сечению. Припой должен быть зафиксирован относительно места спая. Припой закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволочных контуров, лент, дроби, паст вместе с флюсом или наносят в расплавленном виде. При автоматизированной пайке – в виде пасты с помощью шприц-установок. При возможности предусматриваются средства механизации – полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической пайки.

Паяные соединения контролируют по параметрам режимов пайки, внешним осмотром, проверкой на прочность или герметичность, методами дефекто- и рентгеноскопии.