**24.03**

**Урок № 77-78.**

**Соединения деталей. Неразъёмные соединения.**

# *Раздел 4. Неразъемные соединения (сварные, паяные, клеевые соединения).*

## *Соединения деталей машин*

Каждая машина состоит из деталей, число которых зависит от сложности и размеров машины. Так автомобиль содержит около 16 000 деталей (включая двигатель), крупный карусельный станок имеет более 20 000 деталей и т.д.

Чтобы выполнять свои функции в машине детали соединяются между собой определенным образом, образуя ***подвижные и неподвижные связи.*** Например, соединение коленчатого вала двигателя с шатуном, поршня с гильзой цилиндра (подвижные связи). Соединение штока гидроцилиндра с поршнем, крышки разъемного подшипника с корпусом (неподвижные связи).

Наличие подвижных связей в машине обусловлено ее кинематической схемой. Неподвижные связи обусловлены целесообразностью расчленения машины на узлы и детали для того, чтобы упростить производство, облегчить сборку, ремонт, транспортировку и т. п.

***Соединение деталей*** – конструктивное обеспечение их контакта с целью кинематического и силового взаимодействия либо для образования из них частей (деталей, сборочных единиц) механизмов, машин и приборов.

С точки зрения общности расчетов все соединения делят на две большие группы: *неразъемные и разъемные*соединения.

***Неразъемными***называют соединения, которые невозможно разобрать без разрушения или повреждения деталей. К ним относятся заклепочные, сварные, клеевые соединения, а также соединения с гарантированным натягом. Неразъемные соединения осуществляются силами молекулярного сцепления (сварка, пайка, склеивание) или механическими средствами (клепка, вальцевание, прессование).

***Разъемными*** называют соединения, которые можно многократно собирать и разбирать без повреждения деталей. К разъемным относятся резьбовые, шпоночные и шлицевые соединения, штифтовые и клиновые соединения.

***По форме сопрягаемых поверхностей*** соединения делят на плоское, цилиндрическое, коническое, сферическое, винтовое и т.д.

Проектирование соединений является очень ответственной задачей, поскольку большинство разрушений в машинах происходит именно в местах соединений. Многие аварии и прочие неполадки в работе машин и сооружений обусловлены неудовлетворительным качеством соединений.

Так, например, опытом эксплуатации отечественных и зарубежных самолетов установлено, что долговечность фюзеляжа определяется прежде всего усталостными разрушениями, из которых до 85% приходится на резьбовые и заклепочные соединения. Отметим, также, что в конструкциях тяжелых широкофюзеляжных самолетов (например, ИЛ-96, АН-124) насчитывается до 700 тыс. болтов и до 1,5 млн заклепок.

К соединениям в зависимости от их назначения предъявляются требования *прочности, плотности (герметичности) и жесткости*.

Основным критерием работоспособности и расчета соединений является *прочность.* Необходимо стремиться к тому, чтобы соединение было равнопрочным с соединяемыми элементами. Наличие соединения, которое обладает прочностью, составляющей, например, 0,8 от прочности самих деталей, свидетельствует о том, что 20% нагрузочной способности этих деталей или соответствующая часть металла конструкции не используется.

При оценке*прочности* соединения стремятся приблизить его прочность к прочности соединяемых элементов, т.е. стремятся *обеспечить равнопрочность конструкции.*

Требование *плотности*является основным для сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Уплотнение разъемного соединения достигается за счет:

*1) сильного сжатия* достаточно качественно обработанных поверхностей;

*2) введения прокладок* из легко деформируемого материала.

При этом рабочее удельное давление *q* в плоскости стыка должно лежать в пределах q = (1,5…4)p,  p – внутренне давление жидкости в сосуде.

Экспериментальные исследования показали, что *жесткость* соединения во много раз меньше жесткости соединяемых элементов, а поскольку жесткость системы  всегда меньше жесткости наименее жесткого элемента, то именно *жесткость соединения* определяет жесткость системы.

Желательно, чтобы соединение не искажало форму изделия, не вносило дополнительных элементов в его конструкцию и т. п. Например, соединение труб болтами требует образования фланцев, сверления отверстий под винты, установку самих винтов с гайками и шайбами. Соединение труб сваркой встык не требует никаких дополнительных элементов. Оно в наибольшей степени приближает составное изделие к целому. С этих позиций соединение болтами может быть оправдано только разъемностью.

Выбор типа соединения определяет инженер.

## *Сварные соединения*

### *Из истории сварки. Виды сварки.*

Возникновение сварки относится к IV веку до н. э. Тогда трипольские племена, обитавшие на территории Западной Украины, Молдавии и Румынии, выполняли кузнечную сварку меди, а в II веке до н. э. – бронзы.

В 1802 году академик *Петров В. В.* открыл явление электрической дуги, но использована она была в сварочном производстве спустя 80 лет. Только в 1882 году русский изобретатель *Бернандос Н. Н.* применил электрическую дугу для сварки. Он изобрел также точечную контактную сварку.

В 1888 году русский инженер *Славянов Н. Г.* предложил выполнять дуговую сварку металлическим электродом. Он впервые в мире создал электросварочный аппарат.

С 1930 года в нашей стране сварку стали применять в большом объеме не только при ремонте, но и при производстве новых машиностроительных и строительных конструкций. Осуществлялось интенсивное внедрение сварки в производство, литые детали и клепаные конструкции частично или полностью начали заменяться сварными.

Институт сварки им. *Патона Е. О.* с 1940 года начал активное внедрение в производство механизированной сварки под флюсом. Наряду со сваркой в производстве широко применяются различные методы наплавки, наварки и пайки металлов.

***Сварка*—**это технологический процесс получения неразъемного со­единения металлических или неметаллических деталей с применением нагрева (до пластического или расплавленного состояния), выполненного таким обра­зом, чтобы место соединения по механическим свойствам и своему составу по возможности не отличалось от основного материала детали.

Процессы сварки целесообразно рассматривать с трех основных точек зрения: конструктивной, технологической и по природе самих процессов.

С *конструктивной* точки зрения сварка представляет собой процессы создания неразъемных соединений металлических деталей. Сварные соединения необходимо рассматривать как элементы конструкций.

С *технологической* точки зрения сварка является важнейшими операциями процесса сборки металлических деталей в узлы и целые конструкции.

*По природе процессов* сварка является сложными металлургическими, разнообразными по форме процессами.

Сварка успешно заменяет поковки, отливки, клепаные соединения, упрощая технологический процесс, снижая трудоемкость и уменьшая вес изделия. Известно около 70 способов сварки. В соответствии с традиционной классификацией они делятся на две большие группы: сварка плавлением и сварка давлением.

При ***сварке плавлением***металл нагревается в зоне сварки до жидкого состояния. К этому виду относятся дуговая, плазменная, лазерная, электрошлаковая, электронно-лучевая, ионно-лучевая, индукционная, газовая, термитная, литейная и др.

Для ***сварки давлением***обязательным условием является наличие внешних сжимающих усилий. Это контактная, диффузионная, термокомпрессорная, дугопрессовая, шлакопрессовая, газопрессовая, трением, взрывом, холодная, магнито-импульсная и другие способы сварки.

При соединении деталей с помощью сварки плавлением к расплавляе­мой области подводят присадочный материал, который заполняет свари­ваемое место (рис. 1). Затвердевший после сварки металл, соединяющий сваренные детали, *называют****сварным швом.***Формирование сварочного шва сопровождается частичным оплавлением поверхностей деталей, участвующих в образовании сварного соединения. Поверхности свариваемых деталей, подвергающиеся частичному оплавлению при формировании сваро­чного шва и участвующие в образовании соединения, называются ***свариваемыми кромками***.

В зависимости от вида источника энергии различают *термический*, *термомеханический и механический*классы сварки.

Основные виды электросварки — ***дуговая, газовая*и *контактная.***

        ***Дуговая сварка*** - наиболее распространенный вид. Применяется везде, где есть источники электроэнергии.

Разновидности дуговой сварки:

-  *ручная сварка;*этот метод сварки отличается низкой производитель­ностью, но легко доступен для применения;

-  *полуавтоматическая сварка*под слоем флюса; применяется для кон­струкций с короткими прерывистыми швами;

- *автоматическая сварка*под слоем флюса; этот метод сварки высоко­производителен и экономичен, дает хорошее качество шва, применя­ется в крупносерийном и массовом производстве.

       ***Газовая сварка*** применяется в основном там, где нет источников электроэнергии, например, при ремонте в полевых условиях.

При газовой сварке свариваемый и присадочный металлы расплавляют в пламени, получающемся при сгорании какого-либо горючего газа (чаще всего – ацетилена) в смеси с кислородом.

Газовую сварку осуществляют и без применения присадочного материала, где формирование шва проводят за счет расплавления кромок основного металла (соединения - стыковое с отбортовкой и угловое).

Эту сварку применяют в основном при ремонтных работах, при заварке дефектов чугунного литья, при сварке тонколистовых конструкций из малоуглеродистых сталей (толщиной до 5 мм) и некоторых цветных металлов.

По сравнению с электродуговой сваркой, газовая сварка - процесс малопроизводительный.

*Недостатки:* прочностные качества сварных соединений на сталях и алюминии невысоки, и также возникают значительные деформации свариваемых деталей.

***Контактная сварка***применяется в серийном и массовом производстве при нахлесточном соединении тонкого листового металла (точечная, роли­ковая) или при стыковом соединении круглого и полосового (стыковая сварка).

Для образования соединения на специальных контактных машинах стык разогревают электрическим током или силами трения до пластичного состояния металла и сдавливают.

Например, на долю стыковых  соединений контактной сварки приходится более половины выпуска сварного режущего инструмента, где режущая (рабочая) часть из качественной быстрорежущей стали приварена силами трения и сжатия к хвостовой части из углеродистой или легированной стали меньшего качества (более дешевой).

Контактную точечную и шовную сварку применяют для соединения деталей из тонкого (δ≤3мм) листового материала. При точечной сварке листы нагревают и сдавливают электродами 1 (рис.1.1), при шовной – роликами 2 (рис.1.2).

При контактной сварке (сварка давлением) присадочный материал не применяют. Контактная сварка основана на использовании тепла, выде­ляющегося в месте соприкосновения сваривае­мых деталей (например, при прохождении че­рез них электрического тока). Сварка произво­дится с применением механического давления, под действием которого детали, предварительно нагретые в месте соединения (контакта) до пластического состояния или оплавления, образуют сварной шов.



**Рис. 1. Получение сварного шва газовой сваркой**



**Рис.1.1. Точечная сварка**



**Рис.1.2. Шовная (роликовая) сварка**



**Рис.1.3. Стыковая сварка**

Технологические процессы различных способов сварки и область их применения рассматриваются в курсе «Технология металлов и конструкци­онные материалы».

Выбор способа сварки определяется следующими факторами:

- маркой свариваемого материала;

- требуемыми свойствами сварного соединения;

- конструкцией сборочной единицы.

Необходимо принимать во внимание и дополнительные факторы, влияющие на выбор способа сварки (например, *общий объем сварки в изделии, серийность и стоимость процесса сварки*), и рассматривать их с учетом конкретных условий производства сварной конструкции.

***Сварным соединением****называют неразъемное соединение деталей с помощью сварных швов.*Если в заклепочном соединении соединяющим эле­ментом является заклепка, то в сварных - расплавленный металл, создаю­щий при остывании неразъемное соединение, то есть такое, которые не может быть разобрано без повреждения дета­лей. Сварные соединения лучше других приближают составные детали к целым и позволяют изготавливать детали неограниченных размеров. Прочность сварных соединений при статических и ударных нагрузках доведена до прочности деталей из целого металла. Освоена сварка всех конструкционных сталей, включая высоколегированные, цветных сплавов и пластмасс.

Масса сварных конструкций при тех же габаритах значительно меньше клепаных (на 15%). Экономия металла достигается за счет использова­ния полной площади сечения, а также возможности более рационального конструирования (например, применения стыковых соединений в тех слу­чаях, когда при заклепочном соединении приходится применять накладки).

Стандарты, регламентирующие основные типы, конструктивные элементы, размеры и условные обозначения сварных соединений, даны в таблице 1.

**Таблица 1**

|  |  |
| --- | --- |
| ГОСТ | Наименование |
| 5264-80 | Ручная дуговая сварка. Соединения сварные |
| 8713-79 | Сварка под флюсом. Соединения сварные |
| 11533-75 | Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом.Соединения сварные под острыми и тупыми углами |
| 11534-75 | Ручная дуговая сварка.Соединения сварные под острыми и тупыми углами |
| 14771-76 | Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные |
| 14776-79 | Дуговая сварка. Соединения сварные |
| 14806-80 | Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные |
| 15164-78 | Электрошлаковая сварка. Соединения сварные |
| 15878-79 | Контактная сварка. Соединения сварные |
| 16038-80 | Сварка дуговая. Соединения сварные трубопроводов из меди и медно-никелевого сплава |
| 16310-80 | Соединения сварные из полиэтилена, полипропилена и винипласта |
| 23518-79 | Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами |
| 23792-79 | Соединения контактные, электрические, сварные |

### *Ручная дуговая сварка*

Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом приведена на рис.2. На ней обозначены: *1* – хвостовик электрода; *2* – электродное покрытие; *3* – дуга; *4* – капля, переходящая с конца электрода в сварочную ванну; *5* – свариваемый металл; *6* – жидкий шлак; *7* – сварочная ванна; *8* – газопаровая оболочка; *9* – затвердевший шлак; *10* – шов.



**Рис.2**

Для выполнения сварочной операции металл в зоне сварки нагревается и расплавляется под действием теплоты дуги, горящей между электродом и основным металлом. В результате развивается эмиссия электронов и ионизация газов и паров в промежутке между электродом и основным металлом, загорается дуга. Материал электрода, расплавленный дугой, заполняет стык соединяемых элементов. После остывания расплавленного металла образуется сварной шов. Для защиты плавящегося металла от попадания вредных веществ из воздуха на поверхность электрода наносится толстая защитная обмазка, выделяющая при плавлении электрода большое количество шлака и газов. Так как шлак имеет меньшую плотность, чем металл, он всплывает на поверхность сварочной ванны и изолирует металл от окружающей среды.

***Технология сварки.***Технологический процессручной дуговой сварки состоит из следующих операций:

– обработка свариваемых кромок;

– очистка поверхностей свариваемых заготовок;

– сборка и прихватка;

– сварка;

– правка;

– очистка швов от шлака закристаллизовавшихся брызг металла;

– контроль качества сварной конструкции.

Для выполнения сварочной операции возбуждают дугу прикасанием свободным от покрытия торцом электрода к основному металлу, а прерывают дугу – отрывом от него.

При ручной дуговой сварке швы накладываются во всех пространственных положениях – нижнем, вертикальном, потолочном. Наиболее высокое качество швов получается в нижнем положении.

Выбор режима сварки заключается в определении диаметра электрода и силы сварочного тока и зависит от толщины свариваемых элементов.

***Сварочные электроды.*** Электрод для ручной дуговой сварки – это металлический стержень, на который нанесено покрытие. Как отмечалось ранее, при воздействии теплоты дуги компоненты покрытия электрода расплавляются, образуя жидкие шлаки и газы.

Государственным стандартом электроды подразделяются на классы: У – для сварки углеродистых и низколегированных сталей; Л – для сварки легированных конструкционных сталей; Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей; В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами.

Стандартом установлены следующие типы электродов: Э38, Э42, Э46 и Э50, Э55 и Э60 – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей; Э42А, Э46А и Э50А – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, если к металлу сварных швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости; Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 – для сварки легированных конструкционных сталей повышенной прочности. В марках электродов число после буквы Э обозначает предел прочности наваренного металла, кгс/мм2 (1кгс/мм2= 10 МПа), буква А указывает на то, что материал электрода – высококачественная сталь. Выбор электрода для сварки конкретной стали осуществляется с учетом требуемых химического состава и механических свойств металла шва, технологических и других характеристик электродов, а также специфики производства.

***Сварочное оборудование*.** Ручную сварку выполняют на постоянном и переменном токах. При сварке на переменном токе потребляется меньше электроэнергии, источники переменного тока имеют более простую конструкцию, они долговечнее и надежнее. Однако при постоянном токе устойчивее горит дуга.

Для понижения напряжения в сети применяются трансформаторы. Питание электрической дуги выпрямленным током осуществляется различными сварочными выпрямителями. При сварке тонких деталей применяются специальные преобразователи с электронным блоком управления, которые обеспечивают хорошую стабилизацию тока.

***Применение.***Ручная дуговая сварка в основном применяется при монтажных и ремонтных работах, а также в единичном и мелкосерийном производствах. На предприятиях железнодорожного транспорта с применением ручной дуговой сварки выполняется более половины всего объема сварочных работ. Этим способом заваривают трещины и другие дефекты, наваривают изношенные поверхности деталей подвижного состава.

***Преимущества.*** При ручной дуговой сварке можно накладывать швы в любом пространственном положении; выполняются сварные соединения всех типов; применяемое оборудование отличается простотой, надежностью и небольшими габаритами.

***Недостатки.*** Низкая производительность; невысокое качество швов; автоматически не регулируется сила сварочного тока.

### *Механизированная и автоматическая дуговая сварка*

***Механизированная (или полуавтоматическая) сварка*** – это дуговая сварка, при которой подача плавящегося электрода и перемещение дуги относительно изделия выполняются с использованием механизмов. С ее помощью выполняют любые сварные соединения: стыковые, угловые, тавровые, нахлесточные и др.

***Автоматической***называют дуговую сварку, при которой возбуждение дуги, подача электрода и перемещение дуги относительно изделия выполняются механизмами без непосредственного участия человека, в том числе и по заданной программе.

На рис.3 приведена схема образования сварного соединения при рассматриваемых видах сварки. На ней обозначены: *1* – электродная проволока; *2* – сопло (насадка); *3* – токоподводящий наконечник; *4* – газ (флюс); *5* – дуга; *6* – затвердевший шлак; *7* – шов; *8* – сварочная ванна; *9* – основной (свариваемый) металл.



**Рис.3**

При механизированной и автоматической сварке *образование сварного соединения* происходит следующим образом. Теплотой дуги электрод и основной металл расплавляются, капли расплавленного металла с конца электрода попадают в сварочную ванну, где перемешиваются с расплавленным основным металлом. Жидкий металл сварочной ванны подвергается металлургической обработке за счет использования газа или флюса (в этом состоит отличие от ручной дуговой сварки). То есть он раскисляется и легируется. При передвижении дуги вдоль свариваемых кромок перемещается и сварочная ванна. В ее хвостовой части металл охлаждается, кристаллизуется и образуется сварное соединение.

Различают следующие виды механизированной (автоматической) сварки.

1. *В****углекислом газе***и его смесях с кислородом сваривают низко- и среднеуглеродистые, а также низколегированные стали. В углекислом газе сваривают стали толщиной до 40, а в смесях газов – до 80 мм. Защита смесью газов улучшает технологические и металлургические характеристики процесса сварки. Расход углекислого газа зависит от мощности дуги, вылета электрода, воздушных потоков в помещении, где выполняется сварка.

2. *В****инертных газах*** (аргоне или гелии) можно сваривать алюминий, магний, титан и их сплавы. Свариваются низко- и среднеуглеродистые, низко-, средне- и высоколегированные конструкционные стали. Использование названных газов целесообразно, так как аргон имеет плотность почти в 1,5 раза большую, чем воздух, а гелий – значительно меньшую, чем воздух и аргон. Кроме того аргон и гелий не образуют химических соединений с металлами, поэтому в этих газах можно сваривать любые металлы и сплавы.

3**. *Под флюсом*** свариваются низко- и среднеуглеродистые, низко-, средне- и высоколегированные стали, чугун, титан, медь, алюминий и их сплавы.

***Флюс***– порошкообразный материал, который при сварке выполняет такие же функции, как покрытие электрода при ручной дуговой сварке. Основой флюса является силикат марганца SiO2∙MnO. Флюсы в зависимости от способа изготовления бывают двух видов: плавленые и неплавленые. Плавленые получают сплавлением исходных компонентов в печах. К неплавленым относятся керамические и спеченные флюсы. Керамические флюсы изготавливаются из порошкообразных материалов, соединяемых в зерна клеящими веществами, например жидким стеклом. Спеченные флюсы получают спеканием исходных порошкообразных материалов при высоких температурах с последующим дроблением частиц до заданных размеров.

Во время сварки часть флюса расплавляется, а после затвердения образует шлаковую корку. Нерасплавленная часть флюса после просева используется повторно.

4. ***Порошковыми проволоками*** сваривают низкоуглеродистые и низколегированные стали, а специальными порошковыми проволоками – некоторые высоколегированные, в частности, нержавеющие стали, сплавы меди. Ими можно сваривать стали толщиной до 40 мм. Порошковые проволоки представляют собой металлическую оболочку, заполненную ***шихтой*.** Их некоторые поперечные сечения показаны на рис.4: *a*) трубчатое, *б*) трубчатое с захлёсткой, *в*) и *г*) – сложные сечения.



**Рис.4**

Наиболее простая по конструкции – порошковая проволока трубчатого поперечного сечения. Для увеличения жесткости проволоки, а также изменения соотношения компонентов материалов оболочки и шихты применяются проволоки, у которых во внутреннюю полость отогнуты кромки металлической оболочки. Состав металла оболочки выбирается в зависимости от свариваемого металла. В шихту порошковой проволоки вводят компоненты, которые могут выполнять следующие функции:

– защиту расплавленного металла от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха;

– раскисление и легирование расплавленного металла;

– стабилизацию горения дуги;

– улучшение формирования шва.

Применяют три вида порошковых электродных проволок: самозащитные, для сварки в углекислом газе, для сварки под флюсом. Наиболее высокой технологичностью отличается сварка самозащитнымипорошковыми проволоками, так как отпадает необходимость в применении защитных газов и флюсов.

***Сварочное оборудование*.** Для механизированной и автоматической сварки применяются соответственно полуавтоматы и автоматы, комплектуемые источниками тока для питания дуги.

Автоматы выполняют следующие функции: возбуждение дуги и автоматическое регулирование процесса сварки; механизированную подачу электродной проволоки со скоростью, равной скорости плавления; механизированное передвижение дуги относительно свариваемых кромок; подачу флюса или газа в зону дуги.

Автомат состоит из двух основных устройств: трактора или самоходной головки и аппаратуры управления. Автоматы для сварки в защитных газах, кроме того, имеют газовую аппаратуру, которая включает газовый редуктор, баллон с углекислотой, подогреватель газа и осушитель, предназначенный для очистки газа от влаги.

Трактор выполняет подачу электродной проволоки, а также подводит ток к месту сварки. В механизме подачи автоматов и полуавтоматов для сварки электродными проволоками обычно имеются два подающих ролика, один из которых ведущий, а другой прижимной, между этими роликами зажимается электродная проволока. Она сматывается с кассеты, проталкивается через шланг и через токопроводящее устройство подается в зону дуги.

У трактора для сварки под флюсом имеются системы подачи и уборки флюса, а у трактора для сварки в защитных газах – специальная газоэлектрическая горелка, которая предназначена для направления в зону электродной проволоки, подвода к ней сварочного тока и подачи защитного газа в зону дуги. При сварке под флюсом вместо горелки применяется держатель, на котором закреплен бункер для подачи флюса.

***Применение механизированной и автоматической дуговой сварки.*** Механизированной сваркой можно накладывать не только прямолинейные, но и криволинейные швы, а также швы небольшой длины в труднодоступных местах. Сваривают металл малой и средней толщины. Эти виды сварки применяются при различных работах, в том числе и ремонтных. При серийном производстве прямолинейные и кольцевые сварные швы длиной более 300 –500 мм целесообразно выполнять автоматической сваркой.

В транспортном машиностроении механизированная и автоматическая дуговая сварка применяются при производстве вагонов и локомотивов. Хребтовые балки сваривают на поточных механизированных линиях автоматами под флюсом. Рамы вагонов сваривают  автоматами сваркой в углекислом газе на специально оборудованных кантователях. В тракторном и сельскохозяйственном машиностроении сваркой в углекислом газе выполняется до 75% всех сварочных работ.

Автоматическая сварка под флюсом и в углекислом газе широко применяются в трубном производстве для изготовления прямошовных и спиралешовных труб большого диаметра.

Механизированная сварка под флюсом, в углекислом газе и порошковыми проволоками широко применяется при строительстве доменных печей, резервуаров для хранения нефтепродуктов, при строительстве мостов, в судостроении и т. д.

### *Дуговая сварка неплавящимся электродом в инертных газах*

Схема дуговой сварки неплавящимся электродом в инертном газе показана на рис.5. На ней обозначены: *1* – основной металл; *2* – присадоч­ный металл; *3* – держатель электродов; *4* – сопло; *5* – неплавящийся электрод; *6* – струя газа; *7* – дуга; *8* – шов; *9* – сварочная ванна.



**Рис.5**

В зоне сварки осуществляется нагрев основного и присадочного материала до жидкого состояния теплотой электрической дуги, горящей между неплавящимся электродом и основным металлом. В сварочной ванне основной и присадочный металлы перемешиваются и взаимно растворяются. Расплавленный металл в зоне сварки защищен инертным газом от взаимодействия с окружающей средой. При этом виде сварки используют один из двух способов: обдув зоны сварки инертным газом, подаваемым из горелки, либо сварка в камере с контролируемой атмосфе­рой. Инертный газ защищает не только дугу и расплавленный металл сварочной ванны, но и нагретый выше 300 – 400 С металл шва.

***Неплавящиеся электроды*** для сварки в инертных газах изготавливают из чистого вольфрама (ЭВЧ), а также вольфрама с иттрием (ЭВИ-1) и с лантаном (ЭВЛ). В последнее время изготовлены электроды из титана с включением редкоземельных металлов. Такие электроды могут выдерживать температуру до 3200 С.

***Присадочный материал.*** Детали толщиной до 2 мм обычно сваривают без присадочного металла. При толщине более 2 мм в дугу подается присадочная проволока. Химический состав присадочного материала должен быть близок к составу основного металла.

***Инертные газы.*** Для защиты расплавленного металла, а также нагретого, находящегося в твердом состоянии, от взаимодействия с газами окружающего воздуха используются инертные газы – аргон, гелий и их смеси. Эти газы поставляют в стальных баллонах емкостью 40 литров под давлением 14,7 МПа. В производстве особо ответственных конструкций инертный газ подвергается дополнительной очистке от влаги, кислорода и азота.

***Применение.*** В инертных газах можно сваривать любые конструкционные металлы и сплавы. Однако инертные газы дороже и дефицитнее активных, поэтому их применяют в основном для сварки химически активных металлов – магния, алюминия, титана, цинка, тантала, молибдена и др., а также высокопрочных сталей и сплавов с особыми свойствами.

В инертных газах, как правило, сваривают ответственные конструкции. Этот способ используется для сварки химически активных и тугоплавких металлов и сплавов в авиационном, космическом, энергетическом и химическом машиностроении, а также в приборостроении. В инертных газах сваривают высокопрочные, коррозионно-стойкие и жаропрочные стали в судостроении, производстве железнодорожного подвижного состава. Изготавливают также резервуары цистерн и другие конструкции, работающие в условиях повышенных температур и сложного нагружения.

### *Некоторые специальные виды сварки*

К специальным условно отнесены следующие виды сварки:

*–***термический класс:** лазерная, электронно-лучевая, плазменная, электрошлаковая, термитная, газовая;

– **термомеханический и механический классы:** диффузионная, дугопрессовая, газопрессовая, трением, ультразвуковая, взрывом, холодная;

*–***контактная** сварка: точечная, рельефная, шовная стыковая.

Рассмотрим некоторые из них более подробно.

***Лазерная сварка.*** Лазерный луч с помощью оптической системы фокусируется на поверхности материала в световое пятно диаметра 100 мкм. При этом реализуется очень высокая плотность световой мощности и начинается плавление металла. В результате поглощения электромагнитного лазерного излучения металлом в пятне поглощения (световом пятне) образуется сварочная ванна. Мощные лазеры позволяют накладывать непрерывные швы с глубиной проплавления до 20 мм. Ими сваривают не только металлы, но и неметаллические материалы, например стекло, кварц и др. Лазерную сварку можно выполнять на воздухе или в камере с контролируемой атмосферой

С *применением* лазерной сварки приваривают наконечники к лопастям газовых турбин, закаленные режущие кромки к полотнам металлорежущих пил, соединительные планки к стволам охотничьих ружей, герметизируют корпусы приборов и др.

*Преимущества* лазерной сварки: швы можно накладывать в труднодоступных местах; отсутствует контакт со свариваемым металлом и поэтому не загрязняются металл сварочной ванны и шов; мала зона термического влияния и поэтому незначительно коробление сварной конструкции.

***Плазменная сварка.*** Металл в зоне сварки нагревается плазмой до расплавления с образованием сварочной ванны. После кристаллизации происходит образование сварного шва.

*Плазма* – частично или полностью ионизированный газ с высокой концентрацией заряженных частиц, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы. Ионизированные частицы плазмы обладают запасом кинетической и потенциальной энергий. Для создания плазмы применяют различные источники энергии, например, электрический разряд в газах, лазерный луч, процессы горения и взрыва, ядерные реакции. С целью повышения степени ионизации плазма обжимается в канале сопла плазмотрона.

Установка для автоматической плазменной сварки состоит из плазмотрона, самоходной головки, аппаратуры управления, системы газопитания и источника тока. Катоды плазменных горелок изготовляют из вольфрама с присадками лантана, а аноды (сопла) – из меди и латуни. Поскольку в плазме развиваются высокие температуры, электроды (катод и анод) интенсивно охлаждают проточной водой.

*Применение.* Плазменной сваркой сваривают мембранные элементы, сифоны, термопары, тонкостенные трубы. Она применяется в производстве статоров электродвигателей, кузовов автомобилей, труб, вытяжных каналов двигателей внутреннего сгорания и др.

*Преимущества.* Нагрев свариваемого металла можно достаточно точно регулировать в широком интервале температур, изменяя форму и размеры сопла, состав и расход газов и т. д. Поэтому весьма стабильны геометрические параметры швов, меньше склонность их к образованию трещин.

В ***электрошлаковой сварке*** источником нагрева служит теплота, выделяющаяся при прохождении тока от электрода к изделию через шлаковую ванну. Электрошлаковая сварка предназначена для соединения деталей большой толщины. Толщина свариваемых деталей практически не ограничивается. Электрошлаковая сварка позволяет заменять сложные и тяжелые цельнолитые и цельнокованые конструкции сварными из отдельных простых отливок, поковок и листов, что значительно облегчает и снижает стоимость производства. Эта сварка применима и для чугунных отливок.

***Контактная сварка*** основана на использовании повышенного омического сопротивления в стыке деталей и осуществляется несколькими способами. При *стыковой контактной сварке* через детали пропускают ток, сила которого достигает нескольких тысяч ампер. Основное количество теплоты выделяется в месте стыка, где имеется наибольшее сопротивление; металл в этой зоне разогревается до пластического состояния или даже до поверхностного оплавления. Затем ток выключают, а разогретые детали сдавливают с некоторой силой – происходит сварка металла деталей по всей поверхности стыка. Этот вид сварки рекомендуют применять для стыковых соединений деталей, площадь поперечного сечения которых сравнительно невелика.

*Точечная контактная сварка* относится к группе контактной сварки, при которой для образования соединения в свариваемый металл вводятся два вида энергии: тепловая и механическая. При точечной, а также рельефной, шовной сварке металл в зоне сварки нагревается до жидкого состояния с большой скоростью, достигающей десятков тысяч градусов в секунду. Затем заготовки прижимаются одна к другой, в результате чего поверхностные выступы сминаются, а зерна металла измельчаются. После выключения сварочного тока металл в зоне сварки охлаждается и кристаллизуется. В результате образуется соединение, называемое *сварной точкой*. Воздействие внешнего давления и пластическая деформация благоприятно влияют на уплотнение ядра при кристаллизации металла.

Точечная сварка выполняется на машинах переменного, постоянного тока и конденсаторных машинах.

Есть две разновидности точечной сварки: одноточечная и многоточечная. Многоточечная сварка применяется с целью повышения производительности труда и уменьшения коробления сварной конструкции. Выполняют  только нахлесточные соединения заготовок различной конфигурации из листа, прокатных и прессованных профилей, а также из литых, кованых, обработанных резанием полуфабрикатов.

При шовной контактной сварке узкий непрерывный или прерывистый шов расположен вдоль стыка деталей. Эту сварку выполняют с помощью электродов, имеющих форму дисков, которые катятся в направлении сварки. Точечную и шовную сварку применяют в нахлесточных соединениях преимущественно для листовых деталей толщиной не более 3–4 мм и тонких стержней арматурных сеток. В отличие от точечной шовная сварка образует герметичное соединение.

*Применение.* Диапазон применения контактной сварки весьма широк – от микроминиатюрных полупроводниковых устройств и пленочных микросхем, до крупных космических аппаратов. Точечная сварка широко применяется в вагоно- и тепловозостроении: выполняют сварку крыш, боковых стен, настила пола цельнометаллических пассажирских вагонов. Стыковая контактная сварка применяется в производстве железнодорожных рельсов для их соединения в плети длиной до 800 м, а также при ремонте деталей подвижного состава.

Все рассмотренные виды контактной сварки высокопроизводительны, их широко применяют в массовом производстве для сварки труб, арматуры, кузовов автомобилей, металлической обшивки железнодорожных вагонов, корпусов самолетов, тонкостенных резервуаров и т. п.

***Ультразвуковая сварка.*** Соединение при этом способе сварки образуется в результате воздействия на свариваемый материал ультразвуком в сочетании с небольшими сдавливающими усилиями. При введении ультразвука окислы и загрязнения, имеющиеся на сопрягаемых поверхностях, разрушаются и удаляются к периферии, а в металле развивается пластическая деформация и нагрев на локальных участках, на которых происходит смятие микровыступов и измельчение зерен металла.

Установка для сварки ультразвуком состоит из высокочастотного генератора электрических колебаний, магнитостриктора, преобразующего высокочастотные электрические колебания в механические, волновода, сварочного наконечника, привода сжатия.

*Применение.* Ультразвуком в основном сваривают пластичные металлы: алюминий, медь, никель, а также некоторые неметаллические материалы – пластмассы., стекло, полупроводники. Ультразвуком выполняют точечные и шовные нахлесточные соединения. Ультразвуковая сварка применяется в производстве конструкций из тонкого металлического листа в приборостроении и радиотехнике, а также для приварки обшивок к несущим конструкциям летательных аппаратов.

*Преимущества.* Из-за незначительного нагрева свариваемых деталей невелики деформации конструкции в зоне термического влияния. Возможна сварка разнородных трудносвариваемых металлов; сварка деталей из тонкого листа и фольги; можно приваривать детали малой толщины к толстым; электрическая мощность сварочного оборудования невелика.

***Сварка взрывом.*** Для образования сварного соединения возбуждается взрыв, в результате которого подвижная заготовка перемещается с большой скоростью к неподвижной заготовке, лежащей на опорах. При высокочастотном косом их соударении создается давление, большее предела текучести материала, и поэтому развивается пластическая деформация поверхностных слоев металла. Соударяющиеся заготовки сближаются до межатомных расстояний, и между их хорошо очищенными поверхностями возникают связи, образуется сварное соединение. Сварка выполняется на полигонах, в шахтных выработках, в бетонных и стальных взрывных камерах, а также в специальных вакуумных камерах.

Этим способом сваривают углеродистые стали с нержавеющими сталями и никелевыми сплавами, стали с титаном, алюминий, медь, бронзы и другие металлы и сплавы.

*Применение.* С применением сварки взрывом изготовляют многослойные плиты больших размеров из разнородных металлов, крупногабаритные тавровые и двутавровые балки, биметаллические трубы и др. Взрывом сваривают контактные провода электрифицированных железных дорог, приваривают к рельсам соединительные проводники автоблокировки. Получает распространение сварка микровзрывом миниатюрных конструкций в радио- и электронной промышленности, точечная сварка слоев фольги.

*Преимущества и недостатки.* Сварка взрывом характеризуется высокими технико-экономическими показателями, надежностью сварных конструкций. Однако при этом способе возникает сильный шумовой эффект и образование ударной волны.

***Холодная сварка.*** Сварное соединение можно получить не только при нагреве металла, но и при комнатных и отрицательных температурах.

Соединение деталей при холодной сварке получается так. Если сжать свариваемые детали большим давлением, в зоне их контакта развивается пластическая деформация, приводящая к разрушению и удалению поверхностных оксидных и других пленок и измельчению зерен металла. В результате увеличивается площадь контакта, соединяемые поверхности сближаются до межатомных расстояний, возникают силы сцепления, приводящие к образованию сварного соединения. Холодную сварку выполняют на специальных машинах, которые могут создавать необходимое давление 500–2500 МПа. Иногда для проведения холодной сварки используются гидравлические и механические прессы со специальной оснасткой.

*Применение.* Холодной сваркой соединяют пластичные материалы, в основном, цветные металлы и их сплавы. С ее помощью можно выполнять нахлесточные и стыковые сварные соединения. Этим способом сваривают различные элементы электро- и радиотехнических устройств. Выполняют сварку электроприводов из цветных металлов, корпусов полупроводников и других приборов, а также армируют медью сопрягаемые элементы алюминиевых токоведущих шин.

*Преимущества.* При холодной сварке в околошовной зоне отсутствуют структурные превращения, которые изменяют электропроводность металла.

Пластмассы сваривают в струе горячего воздуха или горячим металлическим лезвием, токами высокой частоты, ультразвуком.

### *Наплавка и наварка деталей*

**Наплавка и наварка**– технологические процессы нанесения посредством сварки слоя металла с заданными свойствами и геометрическими параметрами на поверхность изделия. Наплавляются и навариваются слои, имеющие повышенную износостойкость, коррозионную стойкость, жаропрочность и другие свойства.

При ***наплавке***присадочный материал наносится на оплавленную металлическую поверхность изделия. В процессе последующего охлаждения металл кристаллизуется. В результате образуется наплавленный слой, который создается сваркой плавлением.

При***наварке*** твердый присадочный материал, который может быть монолитным или порошковым, соединяется с поверхностью изделия посредством сварки давлением.

Слой, наплавленный за один проход, называется ***валиком*.** Наплавка и наварка выполняются на плоские и криволинейные поверхности. Наплавку на плоские поверхности можно выполнять двумя способами: отдельными валиками и челночным способом. Наплавка на криволинейные поверхности тел вращения выполняются четырьмя способами: по образующей, по окружности, по винтовой линии, с поперечными колебаниями дуги.

Наплавку средне- и высокоуглеродистых, средне- и высоколегированных сталей следует выполнять с учетом особенностей их поведения при нагреве и охлаждении. В ряде случаев наплавка этих сталей ведется с предварительным, а иногда с последующим подогревом, а также с термообработкой после наплавки с целью снятия внутренних напряжений. При выборе технологии наплавки или наварки следует учитывать назначение конструкции и экономическую эффективность технологического процесса. Свойства наплавленного металла должны быть лучше, чем свойства основного, а затраты на наплавку или наварку ниже, чем стоимость нового изделия.

В промышленности применяются различные *способы наплавки*: плазменная, лазерная, электронно-лучевая, электрошлаковая, индукционная, дуговая, газовая и др. *Наварка* может быть контактная, трением, взрывом и др.

Рассмотрим особенности и области применения некоторых способов наплавки и наварки изделий.

***Плазменная наплавка.*** При этом виде наплавки присадочный и основной металлы нагреваются до жидкого состояния плазмой на специальных установках, состоящих из наплавочной головки и аппаратуры управления. Плазмой наплавляют лопатки газовых турбин, рабочие поверхности клапанов внутреннего сгорания, рабочие органы сельскохозяйственных машин. Плазменная наплавка применяется при ремонтных работах в локомотиво- и вагоностроении.

***Лазерная и электронно-лучевая наплавка.*** При них наплавляемая поверхность с нанесенным на нее присадочным материалом оплавляется лазерным лучом или пучком электронов. Этим способом на углеродистую сталь наплавляют сплавы на основе никеля и других сплавов. Для наплавки целесообразно применять лазеры с непрерывным излучением. Транспортирование присадочного материала в зону наплавки выполняется инертным газом, который защищает расплавленный металл от взаимодействия с окружающей средой. Лазерная сварка может выполняться различными присадочными материалами: фольгой, проволоками, пастой с металлическим порошком. Если наплавляют присадочным порошком, подбирается такой режим, при котором порошок полностью расплавляется. В связи с высокой концентрацией энергии и спецификой электронно-лучевого нагрева этот способ наплавки характеризуется высокой производительностью, минимальным растворением основного металла в наплавляемом, небольшими деформациями наплавляемого изделия.

***Электрошлаковая наплавка.*** Особенность этого вида наплавки состоит в том, что основной и электродный металлы в зоне наплавки расплавляются теплотой, которая выделяется при прохождении электрического тока от электрода через жидкий шлак к основному металлу. Для наплавки могут применять аппараты, предназначенные для электрошлаковой сварки, а также специализированное оборудование. Наплавка выполняется электродными проволоками, лентами и пластинами. Применяют следующие *флюсы*: высококремнистые марганцевые, низкокремнистые марганцевые, бескремнистые оксидные, фторидные. Поскольку расплавленный металл хорошо защищен шлаковой ванной от взаимодействия с кислородом и азотом окружающего воздуха, потери его незначительны, а качество наплавляемого металла весьма высокое. Электрошлаковую наплавку целесообразно применять при изготовлении и восстановлении массивных деталей, при большой толщине наплавляемого слоя.

***Дуговая наплавка.*** При дуговой наплавке присадочный материал и основной металл поверхности изделия расплавляются теплотой, которая выделяется при горении электрической дуги. Применяется автоматическая, ме­ханизированная и ручная дуговая наплавка. Она выполняется под флюсом и в защитных газах. Используются электроды, порошковые проволоки и электродные ленты. Хорошие результаты получаются при наплавке электродными лентами, ширина которых изменяется от 20 до 100 мм. Такой же ширины за один проход получается наплавленный слой, поэтому производительность выше, чем при наплавке электродными проволоками. В качестве защитного газа при наплавке сталей чаще всего используется углекислый газ.

***Контактная наварка.*** Различают контактную наварку монолитным и порошковым присадочными материалами.

При первом виде между деталью и токоподводящим роликом зажимается присадочная полоса или лента, а затем через них импульсами пропускается сварочный ток, который их нагревает до жидкого состояния. В результате основной металл и присадочный привариваются друг к другу.

При выполнении контактной наварки порошковым присадочным материалом порошок из бункера попадает в зазор между транспортирующим порошок роликом и навариваемой деталью. Через них пропускают электрический ток. Основной металл и присадочный порошок в контакте нагреваются до пластического состояния. В результате в поверхностном слое основной металл и частицы порошка деформируются и свариваются.

Контактную наварку применяют при восстановлении деталей цилиндрической формы, например валов диаметром 20 – 100 мм.

***Наварка трением.*** При ней изделие закрепляют на столе станка, а цилиндрическому стержню из присадочного материала, закрепленному в цанге сообщают вращательное движение. Поскольку присадочный пруток прижат к поверхности изделия, в результате их взаимного трения выделяется теплота, и трущиеся поверхности нагреваются до пластического состояния. Направленный перенос металла с присадочного прутка на поверхность изделия обусловлен его более высокой термической активацией. За один проход наваривается слой от 0,01 до 0,5 мм.

При наварке порошковым присадочным материалом порошок подается в зону контакта трущего тела и изделия. За счет работы сил трения выделяется теплота, поверхности основного металла и частиц порошка активируются и соединяются между собой, образуя слой на изделии.

### *Достоинства и недостатки сварных соединений по сравнению с за­клепочными (или литыми деталями).*

***Достоинства:***

*-*простота конструкции сварного шва и меньшая трудоемкость в изго­товлении, обусловленной сравнительной простотой технологического процесса сварки.

-  значительное снижение массы конструкции при тех же габаритах: по сравнению с литыми — на 30-50%, посравнению с заклепочными и болтовыми — до 20%. При замене заклепочных соединении сварными экономия в весе получается за счет отказа от применения различных накладок, необходимых в заклепочных соединениях, а также части веса са­мих заклепок; при замене литых деталей сварными конструкциями вес их уменьшается за счет более высоких механических свойств прокатного металла.

- возможность соединения деталей любых форм;

-  герметичность и плотность соединения;

-  бесшумность технологического процесса сварки;

-  возможность автоматизации сварочного процесса;

-  сварное соединение дешевле заклепочного;

- соединение деталей может выполняться встык без накладок;

- возможность сварки толстых профилей;

- высокая ремонтопригодность сварных деталей;

- высокая технологичность сварки, обусловливающая низкую стоимость сварного соединения;

- снижение массы сварных деталей по сравнению с литыми и клёпаными на 25…30%;

- возможность получения сварного шва, равнопрочного основному металлу (при правильном конструировании и изготовлении);

- возможность получения деталей сложной формы из простых заготовок;

- возможность получения герметичных соединений.

***Недостатки:***

*-*возникновение остаточных напряжений в свариваемых элементах;

-  коробление деталей из-за неравномерного нагрева в процессе сварки;

- сложность контроля качества сварных соединений без их разрушения;

- сложность обеспечения высокой надежности при действии ударных и циклических, в том числе и вибрационных, нагрузок.

        - зависимость качества шва от исполнителя ; применение автоматической сварки устраняет этот недостаток.

 - склонность к образованию трещин в местах перехо­да от шва к цельному металлу вследствие термических напряже­ний, возникающих при остывании. Трещины особенно опасны при динамических нагрузках (вибрационных и ударных), поэтому в таких случаях сварные швы стараются не применять, заменяя их заклепочными соединениями. Термические напряжения могут быть частично или полностью устранены термообработкой сварного соединения (низкотемпера­турным отжигом). Термическая обработка исключает также последующее коробление сварных конструкций.

***Область применения.***В настоящее время сварные соединения поч­ти полностью вытеснили заклепочные соединения. Сварка применяется для соединения элементов сосудов, испытывающих дав­ление (резервуары, котлы).

Сварку применяют не только как способ соединения деталей, но и как технологический способ изготовления самих деталей. Сварные детали во многих случаях с успехом заменяют литые и кованые. Для изготовления сварных деталей не требуется моделей, форм или штампов. Это значительно снижает их стоимость при единичном и мелкосерийном производстве. Сварка таких изделий, как зубчатые колеса (рис.6) или коленчатые валы, позволяет изготовлять их более ответственные части (зубчатый венец, шейка) из высокопрочных сталей, а менее ответственные (диск и ступица колеса, щека коленчатого вала) – из менее прочных и дешевых материалов. По сравнению с литыми деталями сварные допускают меньшую толщину стенок, что позволяет снизить массу деталей и сократить расход материала.

Большое распространение получили штампосварные конструкции, заменяющие фасонное литье, клепаные и другие изделия. Применение сварных и штампосварных конструкций позволяет во многих случаях снизить расход материала или массу конструкции на 30–50%, уменьшить стоимость изделий в 1,5–2 раза.

Сварку широко применяют как способ получения заготовок деталей из проката в мелкосерийном и единичном производстве, а также в ремонтном деле.



**Рис. 6**

### *Классификация и разновидности сварных соединений (швов)*

***Классификация.***

Сварные швы классифицируют по следующим признакам:

- по протяженности - на непрерывные, прерывистые и точечные;

***Непрерывный*** – сварной шов без промежутков, *по* *замкнутому контуру* (рис. 7*, а*) и по *незамкнутому контуру* (рис.7, *б*),***прерывистый*** – сварной шов с промежутками по длине (рис. 7,*в*).

Прерывистые швы характеризуются длиной провариваемого участка *l* и шагом*t.*Они могут быть с шахматным (рис. 7.1*, б*) или цепным (рис. 7.1,*а*) расположением провариваемых участков.

*Цепной шов* – это двусторонний прерывистый шов таврового соединения, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого (рис. 7.1*, а*).

*Шахматный шов* – двусторонний прерывистый шов таврового соединения, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков другой ее стороны (рис. 7.1*, б*).

          

***а)                                                  б)                                              в)***

**Рис. 7. Типы сварных швов по протяжённости: *а* – непрерывный по замкнутому контуру;**

***б* – непрерывный по незамкнутому контуру; *в* – прерывистый с промежутками по длине**

          

***а)                                                                  б)***

**Рис. 7.1. Прерывистые швы: *а* – цепной шов; *б* – шахматный шов**

***Точечные швы***(рис.7.2) состоят из кружков одного диаметра, проварены контактной точечной сваркой, отстоят на равном расстоянии один от другого. Точечные швы также могут быть цепными (рис.7.2, *а*) и шахматными (рис.7.2, *б*).

На изображении двухрядного шва контактной точечной сварки (рис. 7.2)проставляют диаметр точки *d*, шаг точечного шва *t*.

     

**Рис. 7.2. Точечные сварные швы: *а* – цепной; *б* – шахматный**

- по назначению - прочные (обеспечивают передачу нагрузки с одно­го элемента на другой); плотные (главные требования герметичность) и прочно-плотные (обеспечивают передачу на­грузки герметичность соединения — непроницаемость для жидкостей и газов);

- по расположению сварного шва в пространстве (рис.7.3) — нижнее *(а);*вертикальное *(в),*горизонтальное *(б);*потолочное (г). При всех прочих равных условиях нижний шов самый прочный,  потолоч­ный — наименее прочный (значения прочности указанных выше швов относятся как 1:0,85; 0,9:0,8).



**Рис. 7.3. Расположение сварного шва в пространстве**

***а* - нижнее*; в* - вертикальное*, б -*горизонтальное*; г -*потолочное**

- по условиям работы - ***рабочие***, предназначенные для восприятия основных нагрузок, и ***соединительные*** или связующие, назначением которых является только скрепление отдельных элементов конструкции в единое целое.

По взаимному расположению свариваемых элементов различают сле­дующие виды соединений

- стыковые С (рис.8);

*-*нахлесточные Н, ло­бовые (рис. 9, *а*);фланговые (рис. 9, *б*);

- с накладками (рис. 10);

        - тав­ровые Т (рис. 11, *а, б*). Свариваемые элементы располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединение может быть выполнено угловыми (рис.11, *а*) или стыковыми (рис. 11, *б*) швами.

*-*угловые У (рис. 11 *в, г*). Применяются для изготовления тары из листовой стали, ограждений и др. Выполняются угловыми швами. Эти соединения передают малые нагрузки и поэтому не рассчитываются на прочность.



**Рис.8. Стыковое соединение**



**Рис. 9. Нахлесточное соединение: *а —*соединение лобовыми швами;**

***б —*соединение фланговыми швами**



**Рис. 10. Соединения с накладками**



**Рис. 11. Соединения тавровые и угловые**

*Стыковые*соединения выполняют так называемыми стыковыми шва­ми, а остальные — угловыми. Наиболее просты и прочны стыковые швы.

***Конструкции стыковых швов.***

Стыковые швы имеют преимущественное распространение вследствие простоты конструкции. В зависимости от толщины свариваемых деталей и обработки кромок стыковые швы делят на следующие типы:

- шов с отбортовкой кромок (рис. 12, *а)*— рекомендуется для тонко­листовых материалов (δ < 2 мм); одна или две кромки деталей отбортовываются;

- односторонний без скоса кромок (рис. 12, *б)*— шов сваривается без обработки кромок листов при их толщине δ < 8 мм;

- односторонний со скосом одной кромки (рис. 12, *в) —*обрабатыва­ется только одна кромка деталей толщиной δ < 12 мм;

- односторонний со скосом двух кромок (рис. 12, *г)*— применяется при толщине деталей δ < 25 мм;

- двусторонний   с   двумя   симметричными скосами одной кромки (рис. 12, *д)*— кромки обрабатываются у одной детали с двух сто­рон, толщиной 8 до 40 мм;

- двусторонний с двумя симметричными  скосами двух кромок (рис. 12, *е)*— толщина свариваемых деталей δ >> 60 мм.

Форма разделки кромок зависит от толщины свариваемого металла, от вида сварки (ручная или автоматическая), от способа защиты расплавленного металла от окисления (сварка под слоем флюса, сварка в среде защитных газов и т.п.) и некоторых других факторов. Для наиболее распространённых видов сварки (ручная плавящимся электродом, полуавтоматическая и автоматическая под слоем флюса и др.) разделка кромок стандартизована.

За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают ту, с которой выполняют сварку.За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают ту, с которой выполняют сварку основного шва.За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая из них.



**Рис. 12. Соединения стыковые: *а*— с отбортовкой;**

***б*— без скоса кромок; *в, г, д, е*— швы со скосом кромок**

Стыковые швы, показанные на рис.13, *а,*называют прямыми, на рис.13, *б —*косыми. Косые стыковые швы применяют для увеличения рабочей длины шва.



**Рис.13. Стыковые швы: *а*— прямой; *б —*косой**

***Конструкция угловых (валиковых) швов.***

Угловые швы применяют в нахлесточных соединениях, в соединениях снакладками, в тавровых и угловых соединениях. По своей прочности они уступают стыковым швам.

Угловые швы могут выполняться за один или несколько проходов автоматической, механизированной и ручной сваркой, что приводит к различной глубине провара основного металла.

Недостатками нахлесточных соединений (рис.13.1, *а*) по сравнению со стыковыми (рис.13.1, *б*) являются:

а) возникновение под действием растягивающих или сжимающих сил *F*изгибающего момента, равного произведению силы на сумму полутолщин свариваемых листов, что приводит к деформации соединения;

б) кроме того, производительность сварки из-за наличия двух швов ниже, и масса нахлесточных соединений больше, чем стыковых.

Везде, где возможно, следует стремиться к применению стыковых соединений.



**Рис.13.1**

***По профилю поперечного сечения***угловые швы могут быть:

- нормальные (рис.14**,***а);*катет шва принимается равным толщине листа *(К=*5);

- вогнутые (рис.14, *б)*с катетом шва *К=*0,85;

- выпуклые (рис.14,*в);*

- специальные (рис.14**,***г*); их профиль представляет неравнобедренный прямоугольный треугольник (один из катетов *K*=𝛿).

Для некоторых швов угловых, тавровых, а также нахлесточных соединений характерен размер катета, обозначенный на рис. 13.2 буквой *K.*

***Катет углового шва*** – это кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части.



**Рис. 13.2. Катет углового шва: *а* – выпуклого;*б* – вогнутого**

***Выпуклость*** – усиление шва, которое определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости (рис. 14, *в*).***Вогнутость***определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом, и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости (рис. 14, *б*).



**Рис.14. Типы угловых швов: *а*— нормальный;**

***б —*вогнутый; *в —*выпуклый; *г —*специальный**

***Толщина углового шва*** – это наибольшее расстояние *а*от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла (рис. 14.1).



**Рис. 14.1. Толщина углового шва: *а* – на выпуклых швах;**

***б* – на вогнутых швах**

Вогнутые швы применяют в особо ответственных конструкциях при переменных нагрузках, так как вогнутость обеспечивает плавный переход шва в основной металл детали, благодаря чему снижается концентрация напряжений. Вогнутый шов повышает стоимость соединения, так как требует глубокого провара и последующей механической обработки для получения вогнутости, выпуклые - вызывают повышен­ную концентрацию напряжений. Наиболее приемлем нормальный профиль углового шва. Специальные швы применяют при переменных нагрузках, так как значительно снижает концентрацию напряжений.

Выпуклые швы (условно называемые швами с усилением) склонны к образованию подрезов (не провары на участках соединения шва со стенками деталей) и обладают пониженным сопротивлением усталости.

Специальные швы целесообразно применять в конструкциях, работающих на усталостные нагрузки.

***По расположению шва относительно действующей нагрузки***угловые швы конструктивно разделяют на:

- лобовые, расположенные перпендикулярно к линии действия нагруз­ки *F*(см. рис.9, *а);*

- фланговые, расположенные параллельно линии действия нагрузки *F*(см. рис.9, *б);*

- комбинированные, состоящие из лобовых и фланговых швов.

Детали под сварку могут быть без подготовки и с подготовкой кромок. Конструкция подготовки кромок по ГОСТ 5264-80 отражается в цифрах после заглавных букв: **С1**, **С2**… (стыковые соединения), **Н1**, **Н2**… (нахлесточные соединения), **Т1**, **Т2**… (тавровые соединения), **У1**, **У2**… (угловые соединения).

***Подготовка кромок деталей под сварку***

На рис.14.2 приведены наиболее характерные способы подготовки кромок деталей под сварку.



**Рис.14.2. Характерные способы подготовки кромок  деталей под сварку**

Кромки тонких листов (δ < 3 мм) стыковых и угловых соединений разделывают по рис.14.2,*а, и*.

Кромки листов толщиной δ≤ 8 мм при ручной дуговой сварке и δ≤ 16 мм при автоматической сварке делают прямыми (рис.14.2, *б, к*). Для проварки на полное сечение детали собирают с зазором m =1…2 мм, который при сварке заполняется жидким металлом.

При большей толщине необходима разделка кромок. Основные виды разделки (рис.14.2): *в…з* − стыковые соединения;  *л…н* − угловые соединения; *о…р* − тавровые соединения.

Форма подготовки кромокзависит от толщины свариваемых деталей, положения шва в пространстве и других данных. ***Угол разделки кромок*** – это угол αмежду скошенными кромками свариваемых частей (рис.14.3).



**Рис.14.3. Форма подготовки кромок**

***Нахлесточные соединения и соединения с накладками сваривают уг­ловыми швами.***

По своей прочности нахлесточные соединения уступают стыковым. Их применяют, когда по конструктивным соображениям стыковые швы применить невозможно. Соединения с накладками применяют, когда сварные швы не обеспечивают необходимой равнопрочности. В конструкциях, под­верженных действию вибрационных и знакопеременных нагрузок, нахлесточные соединения и соединения с накладками применять не рекоменду­ется (создается значительная концентрация напряжений).

Для обеспечения нормальных условий работы нахлесточных соедине­ний размер перекрытия шва (нахлестку) принимают *lп* < 48 (см. рис. 9, *а).*Длину накладок принимают конструктивно.

В зависимости от количества проходов сварочной дуги швы бывают однопроходными и много проходными. Кроме того, швы подразделяются на точечные (электрозаклёпки), роликовые, рельефные и др.

Площадь среза углового шва зависит от расчетной толщины шва *h*p и его длины (рис. 15).



**Рис.15**

Расчетная толщина шва зависит от способа выполнения шва, его вида и связана с катетом шва *K* зависимостью

*hp*=β∙*K*,

где β - коэффициент для определения расчетной толщины углового шва, принимаемый равным:

1 - для однопроходной автоматической сварки (рис. 16,б);

0,8- для однопроходной механизированной сварки;

0,7 - для ручной сварки, а также для многопроходной автоматической и механизированной сварки (см. рис. 16,а);

*K* - расчетный катет углового шва, равный катету вписанного равнобедренного прямоугольного треугольника.



**Рис.16**

Часто при расчетах прочности соединений с угловыми швами коэффициент β принимают равным 0,7 независимо от способа сварки.

Катет шва выбирают из условия *K≤s*, но не менее 3 мм при *s*≥3 мм. Верхний предел толщины швов не ограничен, но швы, у которых *K*>20 мм, встречаются редко.

Из-за дефектов сварки на концах шва (непровар в начале и кратер в конце шва) принимают минимальную длину шва не менее 30 мм.

В нахлесточных соединениях принимают *L*≥4*s*1, где *s*1 - минимальная толщина свариваемых деталей.

Длина *L*ф лобовых швов не ограничена. Длина *L*л фланговых швов не должна превышать 60*K* (некоторые авторы рекомендуют не более 30*K*) для ограничения неравномерности распределения напряжений по длине флангового шва.

При точечной  и  роликовой сварке тонких  изделий  (толщиной менее 2 мм) диаметр точки *d* и ширина шва должны быть в 2-3 раза больше толщины *s* наиболее тонкого свариваемого элемента. При сварке более толстых материалов  диаметр   точки  и   ширину  шва  выбирают  из  соотношения *d*=*s*+3 мм.

Сварка стыковых соединений деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей приведенных ниже значений, должна проводиться так же, как деталей одинаковой толщины (конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине), из таблицы 2.

**Таблица 2**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Толщина тонкой детали, мм | 1-4 | 4-20 | 30-30 | Св. 30 |
| Разность толщин деталей | 1 | 2 | 3 | 4 |

При разности в толщине свариваемых деталей свыше этих значений на детали, имеющей большую толщину *s*1, должен быть сделан скос с одной или двух сторон  до  толщины тонкой детали *s*, как указано на рис.17. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Катеты углового шва *K* и *K*1 должны быть установлены при проектировании сварного соединения, но не более 3 мм для деталей толщиной до 3 мм включительно и 1-2 толщины более тонкой детали при сварке деталей толщиной свыше 3 мм.



**Рис.17**

### *Выбор сварочных материалов*

Свариваемость конструкционных углеродистых, легированных и низколегированных сталей определяется приближенно по эквиваленту углерода СЭ по формуле

CЭ=C+0,05Mn+0,067Ni+0,1(Cr+Mo+V),

где C - содержание углерода, %;

Mn - содержание марганца, %;

Ni - содержание никеля, %;

Сг - содержание хрома, %;

Мо - содержание молибдена, %;

V - содержание ванадия.

В зависимости от величины С сталь по свариваемости подразделяется на четыре группы:

I - хорошая свариваемость, СЭ<0,25 %;

II - удовлетворительная свариваемость, СЭ=(0,25-0,39) %;

III - ограниченная свариваемость, СЭ=(0,39-0,5) %;

IV - плохая свариваемость, СЭ>0,5 %.

При выборе марок сталей для сварных конструкций следует применять марки сталей, отнесенных к группам свариваемости I, II, III. Применение марок сталей группы IV следует ограничивать.

К сварочным материалам относятся сварочная проволока, флюсы, электроды для ручной электродуговой сварки, защитные и горючие газы.

При назначении сварочных материалов необходимо учитывать их технико-экономические характеристики: марку свариваемого материала, обеспечение требуемой формы и размеров швов, обеспечение необходимых механических свойств сварных соединений и коррозионной стойкости, возможность сварки в различных пространственных положениях, предупреждение появления трещин в металле шва и зоне термического влияния, способ сварки, стоимость, коэффициент полезного действия.

Для обеспечения эксплуатационной надежности сварных соединений необходимо обеспечивать не только равнопрочность шва с основным металлом, но и высокую пластичность металла шва. Практически это сравнительно легко достигается при сварке малоуглеродистых сталей. При сварке высокопрочных и легированных сталей, когда не представляется возможным подобрать электроды, обеспечивающие сочетание этих условий, следует предпочитать электроды с несколько меньшей прочностью наплавленного металла, но с более высокой пластичностью.

При сварке алюминия и его сплавов допускается применение сварки в среде инертных газов, контактной, газовой, ручной электродуговой, под флюсом.

Выбор состава проволоки для сварки обусловливается требованиями, предъявляемыми к металлу шва и соединениям. Обычно требования предусматривают стойкость против образования трещин, прочность, пластичность, коррозионную стойкость.

## *Паяные соединения*

***Паяные соединения*** — неразъемные соединения, образуемые за счет химического или физического (адгезия, растворение, образование эвтектик) взаимодействия расплавляемого материала – припоя с соединяемыми кромками деталей. Припой-сплав (на основе олова, меди, серебра) или чистый металл, вводимый в расплавленном состоянии в зазор между соединяемые деталями. Температура плавления припоя ниже температуры плавления материалов деталей. По конструкции паяные соединения подобны сварным: ***нахлесточное, стыковое, в ус***(рис. 29). Наибольшую прочность имеет соединение *внахлестку*, но при этом увеличиваются габариты соединения. Соединение *встык* и *в ус* имеет малые габариты, но невысокую прочность.



**Рис.29**

***Паянием***называют процесс образования неразъемного соединения материалов паяльником *2* (рис. 29.1) при помощи расплавленного металла или сплава, называемого припоем *1.*От сварки паяние отличается тем, что кромки соединяемых деталей не расплавляются, а только нагреваются до температуры плавления припоя. В отличие от сварки пайка сохраняет: структуру, механические свойства и состав материала деталей, вызывает значительно меньшие остаточные напряжения, позволяет соединят не только однородные, но и разнородные материалы: черные и цветные металлы, сплавы, керамику, стекло и др.

Прочность паяного соединения определяется прочностью припоя и сцепления припоя с поверхностями соединяемых деталей. Припои имеют более низкую температуру плавления, чем металлы, из которых изготовлены соединяемые детали *3.*Припой расплавляется и затвердевает в зазорах между поверхностями соединяемых деталей (рис. 29.1).



**Рис. 29.1. Процесс паяния паяльником: *1* – припой; *2* – паяльник; *3* – соединяемые детали**

При пайке поверхности деталей очищают от окислов и обезжиривают с целью получения хорошей смачиваемости поверхности припоем качественного заполнения им зазоров. Нагрев припоя и деталей в зависимости от их размеров осуществляют паяльником, газовой горелкой, электронагревом, в термических печах и др. Для очистки и защиты соединяемых поверхностей и припоя от окисления, улучшения смачиваемости и лучшего растекания припоя применяют флюсы. Они способствуют очищению поверхностей от загрязнений, растворяют окисные пленки, улучшают смачиваемость поверхностей припоем, обеспечивают лучшее затекание припоя в зазоры между спаиваемыми деталями. Флюсы должны обладать хорошей жидкотекучестью и иметь температуру плавления более низкую, чем у припоя, что обеспечивает их вытеснение припоем. Они делятся на химически активные (бура, борная кислота, хлористый цинк и др.) и химически неактивные (канифоль, нашатырь и спиртовые растворы). Применение первых требует тщательной промывки деталей после пайки.

Для уменьшения вредного влияния окисления поверхности деталей при пайке применяют также паяют в вакууме или в среде нейтральных газов (аргон). Расплавленный припой растекается по нагретым поверхностям стыка деталей и при охлаждении затвердевает, прочно соединении детали.

Размер зазора в стыке определяет прочность соединения. При малом зазоре лучше проявляется эффект капиллярного течения припоя, процесс растворения материалов деталей в расплавленном припое распространяется на всю толщину паяного шва (прочность образующегося раствора на 30…60% выше прочности припоя). Размер зазора обычно для легкоплавких припоев принимают зазор до 0,2...0,3 мм на сторону, для твердых припоев несколько меньше - до 0,15 мм. Но величина зазора зависит как от конструкции паяного соединения, так и от технологии пайки  для пайки в печи нужен один зазор, для пайки в соляной ванне другой.

К***легкоплавким***мягким припоям с температурой плавления до 450 С относятся оловянисто-свинцовые сплавы с содержанием олова от 18 до 90 %, например ПОС-61 (61% олова). Для понижения температуры плавления в эти сплавы вводят висмут и кадмий, а для увеличения прочности – сурьму. Твердые припои содержат в своем составе медь, цинк, никель, серебро и имеют температуру плавления выше 500 С.

Мягкие припои применяют для получения главным образом надежных электрических контактов при пайке и герметичных соединений. Эти припои не следует применять для соединений, работающих при температуре свыше 100 °С или подверженных действию ударных нагрузок.

***Среднетугоплавкие***припои имеют температуру плавления выше 500 °С (серебряные или на медной основе). Такими припоями можно получить прочность паяного соединения, близкую к прочности основного металла соединяемых деталей. Твердые припои обеспечивают достаточную прочность шва при температуре свыше 100 С, устойчивы к вибрациям, ударам и агрессивным средам. Тугоплавкие припои состоят из сплава меди, цинка, серебра, никеля, железа, кадмия и других металлов. Припой на медной основе (ВПр1, ВПр2) отличаются повешенной хрупкостью, их применяют для соединения деталей, нагруженных статической нагрузкой. Серебряные припои (ПСр40, ПСр45) применяют для ответственных соединений. Они устойчивы против коррозии и пригодны для соединения деталей, воспринимающих ударную и вибрационную нагрузки.

Маркировка и назначение некоторых припоев: ПОС-90 (олово 90%, остальное свинец, Тпл = 222 °С)  пайка посуды; ПОС-30 (Тпл =256 °С)  третник  пайка радиоаппаратуры; ПМЦ-48, (медь 48%, остальное цинк, Тпл = 865 °С) – пайка медных сплавов, имеющих температуру плавления не ниже 920 °С; ПСр-72 (серебро 72%, остальное медь, Тпл = 779 °С) – пайка чёрных и цветных металлов, имеющих температуру плавления не ниже 800 °С; ПСр-40 (серебро 40%, медь ~16,7%, цинк ~ 17,0%, кадмий ~ 26,0%, никель ~ 0,3% Тпл = 605 °С) - пайка чёрных и цветных металлов, имеющих температуру плавления не ниже 650 °С.

***Достоинством паяных соединений*** является стойкость против коррозии, возможность соединения тонкостенных деталей, герметичность, малая концентрация напряжений вследствие высокой пластичности припоя, простота и дешевизна технологического процесса, широкие возможности его механизации и автоматизации, возможность соединения всех металлов и разнородных материалов (металл с керамикой, стеклом, резиной), малые остаточные температурные напряжения и деформации, малое электросопротивление мест соединения. Пайка позволяет получать соединения деталей в скрытых и труднодоступных местах конструкции.

Так как непосредственная пайка при соединении металлов с неметаллами невозможна, то на поверхности неметаллических материалов создают промежуточный слой из меди, никеля, серебра, который хорошо сцепляется с поверхностью этих материалов и обеспечивает качественную пайку с металлом.

***Недостатком паяных соединений*** по сравнению со сваркой является сравнительно невысокая прочность в сравнении с основным материалом, необходимость малых и равномерно распределенных зазоров между соединяемыми деталями, что требует их точной механической обработки и качественной сборки, а также предварительной обработки поверхностей перед пайкой.

Применение паяных соединений в машиностроении расширяется в связи с внедрением пластмасс, керамики и высокопрочных сталей, которые плохо свариваются. Пайкой соединяют листы, стержни, трубы и др. Ее широко применяют в автомобилестроении (радиаторы и др.) и самолетостроении (обшивка с сотовым промежуточным заполнением). Пайка является одни из основных видов соединений в радиоэлектронике и приборостроении.

Расчет на прочность паяных соединений производят на сдвиг методами сопротивления материалов. Надо учитывать, что в нахлесточном соединении площадь расчетного сечения равна площади контакта деталей. Для нахлесточных соединений деталей из низкоуглеродистой стали, полученных оловянно-свинцовыми припоями (ПОС40), допускаемое напряжение на сдвиг [τ]*с*=60 Н/мм2.

## *Клеевые соединения*

В настоящее время все шире применяют неразъемные соединения металлов и неметаллических материалов, получаемые ***склеиванием*.**Это соединения деталей неметаллическим веществом посредством поверхностного схватывания и межмолекулярной связи в клеящем слое.

Отличие клеевого соединения от паяного заключается в том, что клеи не являются металлами, в то время как припои – это либо металлы, либо их сплавы. В зависимости от состава и свойств клеев их полимерезацияможет происходить как при комнатной  температуре, так и при нагревании.

Наиболь­шее применение получили клеевые соединения внахлестку (рис.30), реже — встык. Клеевые соединения позволили расширить диапазон применения в конструкциях машин сочетаний различных неоднородных мате­риалов — стали, чугуна, алюминия, меди, латуни, стекла, пластмасс, рези­ны, кожи и т. д.



**Рис.30. Клеевое соединение внахлестку**

Все клеи можно разделить на ***конструкционные***- такие которые способны выдерживать после затвердевания нагрузку на отрыв и сдвиг, и ***неконструкционные***  соединения с применением которых не способны длительное время выдерживать нагрузки. К конструкционным можно отнести клеи БФ, эпоксидные, циакрин и др. К неконструкционным - клей 88Н, иногда резиновый и др.

Большинство клеев требует выдержки клеевого соединения под нагрузкой до образования схватывания и последующей досушки в свободном состоянии. Некоторые клеи требуют нагрева для выпаривания растворителя и последующей полимеризации.

 Применение универсальных клеев типа БФ, ВК, МПФ и других (в на­стоящее время употребляют более ста различных марок клеев) позволяет довести прочность клеевых соединений до 80% по отношению к прочно­сти склеиваемых материалов. Наибольшее применение в машиностроении клееные соединения, работающие на сдвиг. Оптимальная толщина слоя клея 0,05…0,15 мм.

На прочность клееных соединений влияют характер нагрузки, конструкция соединения, тип и толщина слоя клея (при увеличении толщины прочность падает), технология склеивания, и время (с течением времени прочность некоторых клеев уменьшается).

Прочность и плотность соединения обеспечивается хорошей зачисткой склеиваемых поверхностей и сдавливанием их при температурах от 15 до 100°С с последующей выдержкой от нескольких минут до нескольких часов.

***Достоинства и недостатки клеевых соединений.***

*Достоинства:*

- простота получения неразъемного соединения и низкая стоимость работ по склеиванию;

-  возможность соединения практически любых  встречающихся в промышленности конструкционных материалов;

- возможность получения неразъемного соединения разнородных ма­териалов любых толщин;

- отсутствие коробления получаемых деталей;

- герметичность, коррозионная стойкость и бензомаслостойкость соединения;

- возможность соединении очень тонких листовых деталей;

- значительно меньшая, чем при сварке, концентрация напряжений;

- высокое сопротивление усталости;

- значительно меньшие, чем при сварке и клёпке, трудовые затраты на единицу продукции;

- малая масса.

*Недостатки:*

- сравнительно невысокая прочность;

- неудовлетворительная работа на неравномерный отрыв;

- уменьшение прочности соединения с течением времени  («старе­ние»), (некоторые клеи обладают высокой устойчивостью против «старения»);

- низкая теплостойкость – прочность соединения нарушается при сравнительно невысоких температурах 60…100°С. (В последнее время созданы некоторые марки клеев на основе элементоорганических и неорганических полимеров, удовлетворительно работающих при t≤1000°C. Однако большинство из них не обладает достаточной эластичностью).

***Область применения.***Клеевые соединения широко применяют в самолетостроении, при изготовлении режущего инструмента, электро- и радиооборудования, в оптической и деревообрабатывающей промышлен­ности, строительстве, мостостроении. В настоящее время созданы некото­рые марки клеев на основе полимеров, удовлетворительно работающих при температуре до 1000°. Клеевыми соединениями создают новые конструкции (сотовые, слоистые), отдельные зубчатые колеса соединяют в общий блок, повышают прочность сопряжения зубчатых венцов со ступицами, ступиц с валами, закрепляют в корпусе неподвижное центральное зубчатое колесо планетарной передачи, наружное кольцо подшипника качения, стопорят резьбовые соединения, крепят пластинки режущего инструмента и др. Клеевые соединения часто применяют в качестве контровочных для резьбовых соединений. Как правило, клеевые соединения лучше работают на сдвиг, чем на отрыв.

## *Вопросы для самопроверки*

- Что понимают под неразъемным соединением?

- Что понимается под сварным соединением и сварным швом?

- Каковы основные виды сварных соединений?

- Чем отличается сварка встык от сварки внахлест?

- Как рассчитываются сварные соединения на прочность?

- Оцените сварное соединение по сравнению с заклепочным?

- Сравните соединение встык и внахлестку, отметьте их достоинства и недостатки?

- В чем преимущества вогнутой формы поперечного сечения углового шва?

- Почему не рекомендуют применять длинные фланговые швы?

- Какие упрощающие допущения принимают при написании формул для расчета прочности угловых швов в различных случаях нагружения?

- Области применения точечной и шовной контактной сварки?

- Какие факторы влияют на прочность сварных соединений?

- Сравните конструктивное оформление сварного и клепаного соединений (см. рис.). Опишите достоинства этого сварного шва.



- Почему потолочный шов при всех прочих равных условиях имеет меньшую прочность?

- Какие преимущества имеют сварные соединения? Область применения сварных соединений?

- Как образуется сварной шов? Типы сварных швов?

- Какие факторы учитывают при выборе допускаемых напряжений для расчетов на прочность сварных соединений?

- Почему не рекомендуют применять длинные фланговые швы?

- Дайте краткое описание сварных соединений: стыковых, нахлесточных, тавровых, угловых.

- Когда применяют стыковые швы без скоса кромок?

- Определите тип шва у таврового соединения (см. рис. 11, б).

- Какой профиль у нормального углового шва? Чему равен катет выпуклого шва (см. рис. 10, в)?

- Можно ли применить лобовой или фланговый шов для получения нахлесточного соединения и для соединения с накладками?

- На практике встречается случай, когда по расчету *lш*> *b* (*b* — ширина детали). Какое решение следует принять в этом случае?

- Почему в формуле (4) в знаменателе принято 0,7*Klш*?

- Каковы достоинства и недостатки паяных соединений по сравнению со сварными? Область их применения?

- Каковы достоинства и недостатки клееных соединений по сравнению со сварными? Область их применения?

- Как определяется площадь нахлесточных паяного и клееного соединений при расчете на прочность?

- Где применяют соединения пайкой и склеиванием? Их преимущества и недостатки по сравнению со сварным?

- На что следует обращать особое внимание при подготовке деталей к склеиванию и пайке?

- Какое из перечисленных соединений следует отнести к разъёмным?

I. Клиновое.

2. С гарантированным натягом.

3. Сварное.

4. Заклепочное.

- Какое из перечисленных соединений следует отнести к неразъемным?

1. Шлицевое.

2. Шпоночное.

3. Сварное.

4. Поперечным коническим штифтом.

- Каким соединением нельзя обеспечить герметичность стыка?

1. Резьбовое.

2. Заклепочное.

3. Клиновое.

4. Шпоночное.

- Какой вид соединений не применяют для соединения цилиндрических стержней?

1. Резьбовое.

2. Клиновое.

3. Заклепочное.

4. Сварное.

- Какое соединение не применяют для соединения ступицы с валом?

1. Резьбовое.

2. Шлицевое.

3. С гарантированным натягом.

4. Шпоночное.

- Какой  способ сварки  рекомендуется применить для  нахлесточного соединения толстых стальных листов?

1. Газовую.

2. Электродуговую.

3. Контактную.

- Какой вид неразъемного соединения стальных деталей имеет в настоящее время наибольшее распространение?

1. Заклепочное.

2. Сварное.

3. Клеевое.

- Укажите наиболее простую конструкцию сварного соединения

1. Нахлесточное.

2. Стыковое.

3. Тавровое.

4. Угловое.

5. С накладками.

- Какой вид сварного соединения изображен на рисунке:



1. стыковое;

2. нахлесточное;

3. угловое?

- Каким способом подготовлены кромки свариваемых деталей  на рисунке:

   

1. со скосом одной кромки;

2. с двумя симметричными скосами одной кромки;

3. с отбортовкой кромок?

- Какой шов изображен на рисунке:



1. угловой односторонний;

2. тавровый двусторонний;

3. тавровый односторонний?

- Каким знаком отмечают на чертеже видимую одиночную сварную точку:

1) «×»;

2) «+»;

3) «\*»?

- Как изображаются на чертеже невидимые одиночные сварные точки:

1) «–»;

2) «±»;

3) они не изображаются?

- Как можно охарактеризовать сварное соединение, изображенное на рисунке:



1. угловое соединение со скосом кромок, выполняется электрошлаковой сваркой проволочным электродом; катет шва 22 мм;

2. угловое соединение без скоса кромок, выполняется дуговой электросваркой; шаг 22 мм;

3. угловое соединение, шов двухсторонний, выполняемый автоматической сваркой под флюсом по замкнутой линии; длина провариваемого участка 22 мм?

- Как охарактеризовать сварное соединение на рисунке:



1. соединение внахлестку, шов прерывистый, выполняемый газовой сваркой, шаг шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, ширина шва 100 мм;

2. соединение внахлестку, одиночные сварные точки, выполняемые контактной точечной сваркой, расчетный диаметр точки 6 мм, ширина детали 50 мм, расстояние между точками 100 мм;

3. соединение внахлестку, шов прерывистый, выполняемый контактной сваркой, ширина шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, шаг 100 мм?

- Какой шов изображен на рисунке:



1. тавровый, по незамкнутой линии, видимый;

2. тавровый, по замкнутой линии, невидимый;

3. тавровый, прерывистый, видимый?

- Какой вид сварного соединения изображен на рисунке:



1. стыковое соединение без скоса кромок;

2. стыковое соединение с криволинейным скосом одной кромки;

3. стыковое соединение со скосом обеих кромок?

- Как называется положение шва при сварке стыковых соединений листов, изображенное на рисунке:



1. вертикальное (сварка снизу вверх);

2. нижнее;

3. потолочное?

- Как называется положение шва при сварке стыковых соединений листов, изображенное на рисунке:



1. нижнее;

2. горизонтальное;

3. переменное?

- Что обозначается буквой t на чертеже сварного прерывистого шва:



1. шаг;

2. длина участка;

3. ширина шва?

- Какое расположение провариваемых участков изображено на рисунке:



1. цепное;

2. шахматное;

3. одностороннее?

- В каком случае в обозначении паяного шва необходимо использовать знак О:

1)

2) 

3) 

- Почему обозначение шва сварного соединения выполняется под линией-выноской:



1. шов невидимый (с обратной стороны);

2. шов двухсторонний;

3. нестандартный шов?

- Как называется сварной шов, показанный на рисунке



1. Угловой фланговый

2. Угловой лобовой

3. Угловой

4. Прорезной

5. Стыковой

- Какую   форму   (скос)   необходимо придать кромкам листов толщиной 15 мм при стыковом шве?

1. Скос кромок не нужен

2. Односторонний скос одной кромки

3. Односторонний скос двух кромок

4. Двусторонний скос двух кромок

- При склеивании каких материалов легко обеспечивается условие: прочность соедине­ния больше, чем прочность склеиваемых ма­териалов?

1. Металлов

2. Металла с неметаллом

3. Неметаллов

- К какому виду относится дуговая сварка?

1. Холодная

2. Химическая

3. Механическая

4. Электрическая

- К какому виду относится газовая сварка?

1. Холодная

2. Химическая

3. Электрическая

4. Механическая

- К какому виду сварных соединений относится соединение деталей, расположенных в одной плоскости таким образом, что соединяемые элементы являются продолжением один другого?

1. Соединение встык

2. Соединение внахлестку

3. Тавровое соединение

4. Угловое соединение

- На прочность не рассчитывают ….. сварные соединения

1) тавровые

2) стыковые

3) угловые

4) нахлесточные

- Угловые швы в сварных соединениях рассчитывают ….. напряжениям.

1) по нормальным

2) по нормальным и касательным

3) по эквивалентным

4) по касательным

- В нахлесточном сварном соединении … шов расположен ….. линии действия нагружающей силы (подобрать соответствие).

1) фланговый    A) параллельно

2) лобовой         B) под углом 45º к

3) косой             C) перпендикулярно

- Какой стыковой шов показан на рисунке?



1. X-образный шов

2. V-образный шов

3. U-образный шов

4. Бесскосный шов (шов без разделки кромок)

- Какой стыковой шов показан на рисунке?



1. X-образный шов

2. V-образный шов

3. U-образный шов

4. Бесскосный шов (шов без разделки кромок)

- Какой стыковой шов показан на рисунке?



1. X-образный шов

2. V-образный шов

3. U-образный шов

4. Бесскосный шов (шов без разделки кромок)

- Какой стыковой шов используют для сваривания деталей толщиной 1...8 мм?

1. X-образный шов

2. V-образный шов

3. U-образный шов

4. Бесскосный шов (шов без разделки кромок)

- Какое сечение углового шва является опасным?



1. Сечение 1-1

2. Сечение 2-2

3. Сечение 3-3

4. Сечение 4-4

- Какой из показанных на рисунке швов обладает меньшей концентрацией напряжений?



1. Шов, показанный на рис.а)

2. Шов, показанный на рис.б)

3. Шов, показанный на рис.в)

4. Шов, показанный на рис.г)

- Какие деформации возникают в стыковом шве, нагруженном растягивающим усилием и изгибающим моментом?



1. Растяжение

2. Растяжение и изгиб

3. Растяжение и кручение

4. Изгиб и кручение

- В какой точке комбинированного шва внахлестку находится напряжение?



1. В точке А

2. В точке В

3. В точке С

4. В точке D

- Какой шов изображен на рисунке?



1. Лобовой

2. Фланговый

3. Втавр угловой

4. Втавр стыковой

- Какой шов изображен на рисунке?



1. Лобовой

2. Втавр стыковой

3. Втавр угловой

4. Фланговый

- Как называется шов, изображенный на рисунке?



1. Лобовой

2. Фланговый

3. Стыковой

4. Втавр

- В каких сечениях шва максимальные напряжения?



1. Сечение I-I

2. Сечение II-II

3. Сечение III-III

4. Сечение I-I, III-III

- Как называется шов, изображенный на рисунке?



1. Лобовой

2. Фланговый

3. Стыковой

4. Втавр

- Какие из перечисленных качеств могут быть отнесены к числу недостатков соединений сваркой?

1. Высокая производительность процесса сварки.

2. Высокая чувствительность к вибрационным нагрузкам.

3. Возможность существенного снижения массы сложных деталей при поэлементном изготовлении их с последующей сваркой.

4. Возможность комбинирования различных материалов в одной детали.

- Какой из перечисленных материалов лучше всего сваривается?

1. Чугун.

2. Высокоуглеродистые стали.

3. Среднеуглеродистые стали.

4. Малоуглеродистые стали.

- Какой из перечисленных материалов лучше всего сваривается?

1. Углеродистые стали.

2. Низколегированные стали.

3. Легированные стали.

4. Сплавы цветных металлов.

- По взаимному расположению свариваемых деталей различают:

1. Соединения встык.

2. Нахлесточные соединения.

3. Соединения в тавр.

4. Соединения угловые.

В каком из них сохраняется общая плоскостность?

- Необходимо сварить встык две детали сечением b×s= 2000×8 (мм∙мм). Какую сварку целесообразно применить?

1. Контактную.

2. Кузнечную.

3. Электрошлаковую.

4. Дуговую.

- Какой вид сварки нужно применить для нахлесточного соединения двух листов сечением b×s=1500×1 (мм∙мм)?

1. Дуговую.

2. Контактную.

3. Точечный шов.

4. Электрошлаковую.

- Какой вид сварки не обеспечивает герметичности соединения?

1. Кузнечная.

2. Контактная.

3. Точечный шов.

4. Электрошлаковая.

- Какая разделка кромок свариваемых деталей применяется при сварке особо толстых деталей?



1. U-образная.

2. Двойная U-образная.

3. V-образная.

4. Х-образная.

- Представлен ряд толщин листов, свариваемых встык ручной сваркой. Начиная с какой толщины необходима предварительная разделка кромок?

1. 10 мм;

2. 20 мм;

3. 30 мм;

4. 40 мм.

- На какой схеме правильно названы угловые (валиковые) швы?



- Толщина свариваемых деталей *s*=8 мм. Какой катет шва k следует считать оптимальным в соединении угловыми (валиковыми) сварными швами?

1. k=10 мм.

2. k=8 мм.

3. k=5 мм.

4. k=3 мм.

- Какое из приведенных ниже утверждений ошибочно?

1. Ограничивается минимальная длина фланговых швов.

2. Ограничивается максимальная длина фланговых швов.

3. Ограничивается минимальная длина лобовых швов.

4. Ограничивается максимальная длина лобовых швов.

- Уголок приваривается к листу угловыми (валиковыми) сварными швами. Как правильно наложить фланговые швы?



- Нахлесточное соединение комбинированными угловыми (валиковыми) швами нагружено моментом М и силой Р. По какой точке следует вести проверочный расчет соединения?



- При сварке точечным швом, каким выбирают диаметр сварной точки?

1. Не связывают с толщиной свариваемых деталей.

2. Меньше толщины свариваемых деталей.

3. Равным толщине свариваемых деталей.

4. Большим этой толщины.

- При сварке точечным швом как ограничивается количество свариваемых деталей?

1. Не более двух.

2. Не более трех.

3. Не более четырех.

4. Не ограничивается.

- Для повышения прочности соединения дуговой сваркой встык при переменной нагрузке предложено:

1. Механической обработкой снять утолщения;

2. Поставить накладки;

3. Применить предварительную разделку кромок;

4. Улучшить технологию сварки, исключить непровар.

Какое мероприятие включено в этот перечень ошибочно?

- Какое из перечисленных мероприятий наименее эффективно с точки зрения повышения прочности соединений сваркой при переменных нагрузках?

1. Естественное старение.

2. Наклеп дробью.

3. Чеканка.

4. Механическая обработка с целью получения плавной вогнутости швов.

# *Неразъемные соединения (заклепочные соединения и соединения с натягом).*

## *Заклёпочные соединения*

***Заклепочные соединения****состоят из двух или нескольких листов или деталей, соединяемых (склепываемых) в неразъемную конструкцию с помощью заклепок*(рис. 1).

***Заклепкой***называют круглый стержень, имеющий сформированную за­кладную головку *1*на одном конце и формируемую в процессе клепки за­мыкающую головку *2*на другом его конце. При этом детали сильно сжимаются, образуя прочное, неподвижное неразъёмное соединение.

***Заклепочным швом***называют *соединение, осуществляемое группой закле­пок*(рис. 3).



**Рис. 1. Заклепочные со­единения**



**Рис. 2. Формирование заклепочного шва**



**Рис. 3. Однорядное за­клепочное соединение**

Отверстия под заклепки в деталях продавливают или сверлят. При продавливании образуются мелкие трещины по периферии отверстий. Трещины могут быть причиной разрушения заклепочного шва во время работы. Продавленные отверстия применяют в малоответственных конструкциях. Сверление – процесс малопроизводительный и дорогой. Сверленые отверстия применяют в конструкциях, где требуется высокая надежность. При больших диаметрах отверстий практикуют продавливание с последующим рассверливанием.

Каждая заклепка имеет свою зону действия *D*, на которую распространяется деформация сжатия в стыке деталей. Если зоны действия соседних заклепок пересекаются, то соединение будет плотным. Вследствие пластических деформаций в процессе клепки стержни заклепок заполняют отверстия и заклепки стягивают соединяемые детали. В результате относительному сдвигу склепанных деталей оказывают сопротивление как стержни заклепок, так и силы трения, возникающие на поверхности стыка.

Для обеспечения плотности шва иногда выполняют чеканку (пластическое деформирование листов, например, пневматическими молотками) вокруг заклепок и по кромкам листов.

Заклепки поставляются как готовые изделия.

***Заклепочное соединение получают следующим способом.***

В отверстия соединяемых деталей вставляют заклепки (см. рис. 2). Под закладную головку *1*устанавливают инструмент-поддержку. Специ­альной клепальной машиной или вручную (ударами молотка, кувалды) вы­ступающий конец заклепки (*l*1≈1,5*d*3) осаживают обжимкой в замыкающую головку *2.*Для стальных заклепок с *d*3≤12 мм производят клепку вхо­лодную, то же относится к заклепкам из цветных металлов и сплавов; с d3≥12 мм с нагревом заклепки до светло-красного каления  (1000—1100 0С). Этот способ обеспечивает более высокое качество заклепочного шва, так как заклепки укорачиваются при остывании и стягивают детали, создавая на стыке их поверхностей большие силы трения, препятствующие относительному сдвигу деталей при действии нагрузки

Диаметры отверстий под заклепки *dОТВ*выбирают по стандарту в зависи­мости от диаметра заклепки. Для холодной клепки можно рекомендовать

*dOTB = d3 +*0,05*d3*,

для горячей клепки

*dOTB = d3 +*0,l*d3,*

где *d3 —*диаметр устанавливаемой заклепки.

Клёпку проводят вручную или машинами. При машинной клёпке отверстие заполняется металлом лучше, что благоприятно сказывается на работе заклёпочного соединения. Во избежание химической коррозии в соединениях заклёпки ставят из того же материала, что и соединяемые детали.

### *Достоинства и недостатки заклепочных соединений по сравнению с другими видами неразъемных соединений*

***Достоинства:***

- высокая надежность соединения;

- удобство контроля качества клепки;

- повышенная сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам;

- возможность соединения деталей из трудносвариваемых металлов, например из алюминия;

- неизменность физико-химических свойств материалов соединяемых деталей в процессе клепки.

- не дают температурных деформаций;

- детали при разборке не разрушаются.

Дополнительно отметим, что, так как заклепки изготовляют из высокопластичных материалов, их разрушению предшествуют значительные остаточные деформации, которые в некоторых случаях как бы сигнализируют об опасности разрушения, что и позволяет принять предупредительные меры. При разборке соединения (разрушении заклепок) соединяемые детали обычно почти не повреждаются и могут быть использованы повторно.

Клепаная конструкция с большим количеством заклепок вместо сварки (авиация, котлы, мосты) хотя и создает высокую концентрацию напряжений вблизи отверстий соединяемых деталей, при возникновении трещины не позволяет ей распространяться на всю ширину детали, а лишь от одного отверстия до другого.

***Недостатки:***

- высокая стоимость, так как процесс получения заклепочного шва состоит из большого числа операций (разметка, продавливание или сверление отверстий, нагрев заклепок, их закладка, клепка) и требует применения дорогостоящего оборудования (станки, прессы, клепальные машины).

- повышенный расход материала для этого соединения (из-за ослабле­ния соединяемых деталей отверстиями под заклепки требуется уве­личение их толщины, применение накладок и т. п.). Вес заклёпок составляет 4% от веса конструкции (вес сварных швов – 1,5%).

- детали ослаблены отверстиями;

- высокий шум и ударные нагрузки при изготовлении;

- нарушение плотности швов при эксплуатации;

- невозможность соединения деталей сложной конфигурации.

- соединение деталей встык требует применения специальных накладок, что приводит к дополнительному увеличению массы конструкций.

- заклепки и соединяемые детали должны быть однородными (в местах соединений разнородных металлов возникают гальванические токи, разрушающие соединение) с одинаковым температурным коэффициентом линейного расширения. Указанные недостатки весьма существенны, поэтому они привели к резкому сокращению применения заклепочных соединений и замене их сварными, паяными и клеевыми соединениями.

### *Область применения заклепочных соединений*

В настоящее время в связи с бурным разви­тием сварки заклепочные соединения имеют ограниченное применение (в конструкциях, для которых методы сварки и склеивания еще недостаточно разработаны или малоэффективны, а также в соединениях, работающих при больших вибрационных или ударных нагрузках при высоких требованиях к надежности соединения). Также в соединениях окончательно обработанных деталей, в которых применение сварки недопустимо из-за их коробления при нагреве. Особенно широко употребляются заклёпки для соединения разнородных или нагортованных (подвергнутых холодной деформации) материалов (сталь – алюминиевые сплавы; холоднокатаный лист; соединение металла с неметаллом).

Большой объем клепально-сборочных работ производится при изготовлении летательных ап­паратов. Некоторые самолеты имеют более миллиона заклепок. Заклепоч­ные соединения находят применение в подъемно-транспортных машинах, в строительстве железнодорожных мостов, котлостроении и т. п.

### *Классификация заклепочных соединений и заклепок*

Заклепочные швы классифицируют:

- по назначению — *прочные* швы (мостовые и крановые фермы, само­леты и т. д.), обеспечивающие прочность соединения, *прочноплотные* (в котлах и резервуарах с высоким давлением), *плотные*(в резервуарах с небольшим внутренним давлением), обеспечивающие прочность и герметичность;

- по взаимному расположению склепываемых деталей - швы *встык* с одной или двумя накладками (см. рис. 1) и швы *внахлестку*(см. рис.3);

- по числу рядов (для швов встык число рядов учитывается по одну сто­рону стыка) — *однорядные*(см. рис. 3) и *многорядные* (рис. 4);

- по расположению заклепок в рядах — *параллельные*(рис.  5) и*шахматные* (рис. 6) швы;

- по условиям работы (по числу плоскостей среза) —*односрезные* швы — с одной плоскостью среза в каждой заклепке (см. рис. 3, 5) и*многосрезные* — с несколькими плоскостями среза каждой заклепки (двухсрезные — см. рис. 1; 6).



**Рис. 4.  Многорядное  заклепочное соединение**



**Рис.5. Многорядное заклепочное соединение**

**с параллельным расположением заклепок**



**Рис.6. Многорядное заклепочное соединение**

**с шахматным расположением заклепок**

***Основные типы заклепок.***

Разнообразие заклепочных соединений порождает соответственно большое число разновидностей самих заклепок. Выбор формы закладной головки зависит от назначения заклепочного шва. В швах, требующих большой прочности и плотности, применяют за­клепки с ***полукруглой головкой***ГОСТ 10299-80, 14797-85 (рис. 7, *а).****Заклепки с потайной или полупо­тайной головкой***ГОСТ 10300-80, 14798-85 (рис. 7, *б, в)*используют в том случае, когда выступаю­щие закладные головки заклепок мешают перемещению каких-либо деталей или в случае больших гидродинамических и аэродинамических сопротивле­ний (в судостроении и самолетостроении). ***Заклепки с бочкообразной головкой***(рис. 7, *г)*применяют там, где они омываются горячими газами, в топках парового котла и т. п.; в процессе эксплуатации головки обгорают и приоб­ретают полукруглую форму, сохраняя необходимую прочность.

***Заклепки с широкой головкой***(рис. 7, *д)*применяют для соединения тонколистовых (до 1,5 мм) материалов, ***трубчатые заклепки (пистоны)***ГОСТ 12638-80, 12640-80 (рис. 7, *е)*— в слабонагруженных металлических соединениях, а также в соединениях неметаллических материалов (фибра и др.). Трубчатые заклёпки применяются также для того, чтобы использовать их отверстие в заклёпочном соединении для пропуска электрических проводников, крепёжных или других деталей. Полупустотелые заклёпки применяются в тех случаях, когда не желательно или не допустимо заклёпочные соединения подвергать ударам.



**Рис.7. Основные типы заклепок**

В случае невозможности образования замыкающей головки обычными способами (в труднодоступных — «узких» местах) применяют ***взрывные за­клепки***(рис. 7, *ж).*

Большая часть типоразмеров заклёпок стандартизована. Обозначение заклёпки в конструкторской документации обычно включает номер стандарта, диаметр стержня и длину тела заклёпки, выбираемую из ряда нормальных линейных размеров с учётом запаса длины на формирование замыкающей головки.

### *Материалы*

В качестве склепываемых материалов могут быть уг­леродистые и легированные стали, цветные металлы и их сплавы, неметал­лические материалы, применяемые в общем машиностроении. Заклепки изготовляют из низкоуглеродистых сталей Ст2, СтЗ, Ст2кп, СтЗкп, 10, 15, Юкп, 15кп, легированной стали 12Х18Н9Т, меди МЗ, латуни JT63, алюми­ниевых сплавов АД1, Д18, АМг5 и др. Материал заклёпки должен быть достаточно пластичным.

К материалу заклепки предъявляются *требования:*

1. Высокая пластичность для облегчения процесса клепки.

2. Одинаковый коэффициент температурного расширения с материалом деталей во избежание дополнительных температурных напряжений в соединении при колебаниях температуры.

3. Однородность с материалом склепываемых деталей для предотвращения появления гальванических токов, сильно разрушающих соединения.

Для стальных деталей применяют только стальные заклепки, для дюралюминиевых – алюминиевые, для медных – медные.

При выборе материала заклепок должно быть такое сочетание материалов, которое бы исключало образование гальванических пар и гальванических токов в соединении.

## *Соединение деталей с гарантированным натягом (прессовые соединения)*

*Соединение деталей может осуществляться за счет посадки одной детали на другую.*

В посадках (рис. 12, *а)*обеспечивается зазор в соединении. В этом случае детали легко перемещаются относительно друг друга.

В посадках с натягом (рис. 12, б) в соединении обеспечивается натяг. Такие посадки (на рис. 13 - показаны поля допусков посадокпо ГОСТ 25347—82) могут обеспечивать передачу вращающего момента без применения шпонок, клиньев, болтов и т. п.

*Основной задачей расчета соединения с гарантированным натягом являет­ся выбор посадки, обеспечивающей передачу заданного вращающего момента.*

***Соединения деталей с натягом*** – это напряженные соединения, в которых натяг создается необходимой разностью посадочных размеров вала и втулки. Для закрепления деталей используют силы упругости предварительно деформированных деталей.

Соединения с натягом можно разделить на две группы:

- соединение деталей по цилиндрическим или коническим поверхностям (здесь отсутствуют какие-либо специальные соединительные детали);

- соединения деталей по плоскости с помощью стяжных колец или планок.

Основное применение в машиностроении имеют соединения первой группы (по цилиндрическим поверхностям).

В машиностроении применяют *переходные посадки,*при которых воз­можно получение как зазора, так и натяга.

*Соединение деталей с гарантированным натягом относится к соеди­нениям, передающим рабочие нагрузки за счет сил трения между валом и от­верстием.*

### *Достоинства  и недостатки соединений с натягом*

К основным **достоинствам** цилиндрических соединений с гарантированным натягом относятся: простота конструкции, возможность передачи больших нагрузок как статических, так и динамических (ударных), обеспечение хорошего центрирования соединяемых деталей; возможность применения при очень больших осевых нагрузках и вращающих моментах. Шлицевые и особенно шпоночные соединения при динамическом нагружении быстро обминаются.

Характерной особенностью соединений с натягом является то, что они могут воспринимать произвольно направленные силы и моменты, а соединения по цилиндрическим и коническим поверхностям дополнительно обеспечивают хорошее центрирование и не требует специальных крепёжных деталей.

Обычно соединения с гарантированным натягом относят к неразъемным соединениям, однако цилиндрические соединения допускают разборку (распрессовку) и сборку (запрессовку) деталей.

К основным **недостаткам**цилиндрических соединений с гарантированным натягом относятся: сложность сборки и разборки соединений, возможность уменьшения величины расчетного натяга соединяемых деталей и повреждения их посадочных поверхностей при сборке (запрессовке), требование пониженной шероховатости посадочных поверхностей и высокие требования к точности их изготовления,повышенная концентрация напряжений, большое рассеивание сил сцепления в связи с рассеиванием действительных посадочных размеров в пределах допусков и коэффициентов трения, ограниченность несущей способности при вибрационной нагрузке за счет фреттинг - коррозии (разрушение сопряжённых поверхностей при очень малых колебательных относительных перемещениях).

Характерными примерами соединение с натягом могут служить кривошипы, пальцы кривошипов, детали составных коленчатых валов двигателей автомобилей, венцы зубчатых и червячных колес, ступиц колес с валом, колёсные центры на ось и бандажи железнодорожных колёс, диски турбин, роторы электродвигателей, гребные винты кораблей, подшипники качения, штампы и т.д.

На практике часто применяют комбинацию прессового соединения со шпоночным. При этом прессовое соединение может быть и основным и вспомогательным. Точный расчет комбинированного соединения ещё не разработан. Его сложность заключается в определении долей нагрузки, которые передаёт каждое из соединений.

Соединения с натягом обладают сравнительно невысоким сопротивлением усталости. Разрушение схватываемой детали происходит при напряжениях в 1,5-3 раза ниже предела выносливости стандартного гладкого образца из такого же материала. Это объясняется высокой концентрацией напряжений на краях соединения после сборки и в процессе эксплуатации.

Соединения с натягом применяют не только для тел вращения, но и для фасонных деталей. Сегодня рассмотрены задачи, в которых схватывающая деталь представляет собой пластину с наружным контуром в виде квадрата и эллипса, эксцентрик, венец зубчатого колеса с зубьями, подшипник, звено цепи. Весьма эффективно и перспективно использование ЭВМ для расчета параметров соединений с натягом.



**Рис. 12. Соединения с гарантированным натягом: *а*— посадка с зазором; *б*— посадка с натягом**

## *Вопросы для самопроверки*

- Что понимают под неразъемным соединением?

- Каковы достоинства и  недостатки клепаных соединений? Область их применения.

- Как образуется клепаное соединение? Типы клепаных соединений.

- Какие конструкции швов применяют для увеличения коэффициента φ?

- Как рассчитывают заклепочное соединение?

- Особенности конструкции заклепочных соединений ферм?

- Что такое коэффициент φ прочности клепаного соединения? Какие типы соединений применяют для увеличения коэффициента φ?

- Почему за расчетный диаметр заклепки принимают диаметр отверстия *d*0.

- Где и когда применяются заклёпочные соединения?

- Каковы критерии прочностного расчёта заклёпок?

- Перечислите достоинства и недостатки заклепочных соединений. Крат­ко обоснуйте перечисленные недостатки.

- Охарактеризуйте область применения заклепочных соединений.

- Какие требования следует предъявлять к материалам заклепок?

- По каким напряжениям рассчитывают заклепки прочных швов?

- Каким способом осуществляется посадка с натягом?

- В чем преимущества и недостатки соединений с натягом по сравнению с другими видами соединений?

- Почему соединение температурным деформированием считается более надежным, чем запрессовкой?

- Как обеспечивается свободная сборка деталей при соединении их температурным деформированием?

- Как определяется значение минимального контактного давления в соединении с натягом при одновременном действии осевой силы и крутящего момента?

- Как образуется соединение с натягом и за счет каких сил оно передает нагрузку?

- Какими способами можно собрать соединение  с натягом по  цилиндрическим поверхностям?

- Каковы преимущества и недостатки соединений с натягом по сравнению с другими видами соединений? В каких случаях их применяют?

- От каких факторов зависит нагрузочная способность соединения с натягом?

- Как создают натяг в конических соединениях?

- Каковы условия, обеспечивающие взаимную неподвижность деталей цилиндрических соединений с натягом при нагружении соединения осевой силой или вращающим моментом и одновременно осевой силой и вращающим моментом?

- От чего зависит нагрузочная способность соединения с натягом?

- Как осуществляют сборку соединения с натягом при использовании температурного деформирования?

- Оценка соединения с натягом по сравнению со шпоночным и шлицевым?

- По каким натягам рассчитывают прочность соединения и прочность деталей?

- Почему в соединении с натягом наблюдается коррозионно-механическое изнашивание? Способы его уменьшения?

- Где применяются заклепочные соединения?

1. В корпусах судов

2. В фермах железнодорожных мостов

3. В авиастроении

4. В автомобилестроении

- Покажите на рисунке закладную головку заклепки



1. Поз. 1

2. Поз. 2

3. Определить нельзя

- Как называется заклепочный шов, показанный на рисунке?



1. Односрезный, двухрядный, встык с одной накладкой, шахматный

2. Двусрезный, двухрядный, встык с одной накладкой, шахматный

3. Односрезный, двухрядный, внахлестку, шахматный

4. Односрезный, четырехрядный, встык с одной накладкой, шахматный

5. Односрезный, двухрядный, встык с одной накладкой, параллельный

- Покажите на рисунке заклепку с полупотайной головкой



1. а

2. б

3. в

- Выберите материал заклепок для ответственных металлоконструкций мостов

1. СтЗ

2. Ст5

3. 40ХН

4. Д18

- На какой вид деформации рассчитывают за­клепку?

1. На срез, растяжение и сжатие

2. На срез и смятие

3. На срез и растяжение

- Холодным способом производят клепку заклепок из…..

1) меди

2) алюминиевых сплавов

3) стали любых диаметров

4) стали диаметром до 10 мм

- Горячим способом производят клепку заклепок из…..

1) меди

2) алюминиевых сплавов

3) стали диаметром до 10 мм

4) стали диаметром боле 10 мм

- Недостатками заклепочных соединений являются…..

1) ослабление деталей отверстиями

2) невозможность соединения деталей из несвариваемых материалов

3) повышенный расход металла

4) высокая стоимость

-Пустотелые заклепки применяют…..

1) в силовых соединениях

2) в плотных соединениях

3) для соединения тонких листов и неметаллических деталей

4) для соединения толстых листов

- Заклепки в соединениях рассчитывают на…..

1) срез и смятие

2) сжатие

3) изгиб

4) кручение

- Диаметр заклепок определяется из условия прочности при…..

1) срезе

2) смятии

3) растяжении

4) кручении

- Проверочный расчет заклепочного соединения производят из условия прочности при…..

1) срезе

2) смятии

3) растяжении

4) кручении

- При увеличении диаметра заклепок в заклепочном соединении в 2 раза прочность соединения по напряжениям среза заклепок…..

1) увеличивается в 2 раза

2) увеличивается в 4 раза

3) уменьшается в 2 раза

4) уменьшается в 4 раза

- При выборе материала заклепок необходимо…..

1) чтобы коэффициенты линейного расширения материалов заклепок и соединяемых деталей были близкими друг к другу

2) чтобы коэффициенты линейного расширения материалов заклепок и соединяемых деталей значительно отличались друг от друга

3) чтобы материалы заклепок и соединяемых деталей были разнородными

4) чтобы материалы заклепок и соединяемых деталей были однородными

- Более нагруженной является заклепка …..



1) 1

2) 2

- В какой из перечисленных областей применения заклепочные соединения почти полностью вытеснены сваркой?

1. Соединения деталей, не допускающих нагрева.

2. Соединения, требующие герметичности.

3. Соединения неметаллических деталей.

4. Соединения, работающие в условиях вибрационных нагрузок.

- Какая запись сделана неверно?

1. Создать прочное заклепочное соединение холодной клепкой.

2. Создать прочное заклепочное соединение горячей клепкой.

3. Создать прочноплотное заклепочное соединение холодной клепкой.

4. Создать прочноплотное заклепочное соединение горячей клепкой.

- Выберите материал заклепки для горячей клепки:

1. Ст. 3;

2. Ст. 4;

3. Ст. 5;

4. Ст. 6.

- При одинаковом диаметре и количестве заклепок, какое из соединений имеет большую нагрузочную способность?

1. Внахлестку.

2. С одной накладкой.

3. С двумя накладками.

4. Равноценны.

- Стандартные заклепки отличаются друг от друга по форме головки:

1. Полукруглая головка.

2. Потайная.

3. Полупотайная.

4. Плоская.

Какие заклепки применяют для работы в коррозионных средах?

- Если прочное заклепочное нахлесточное соединение заменить соединением с одной накладкой (общее число заклепок возросло в два раза), как изменится его нагрузочная способность?

1. Не изменилась.

2. Уменьшилась в два раза.

3. Увеличилась в два раза.

4. Увеличилась в четыре раза.

- Соединение с одной накладкой заменили соединением с двумя накладками. Как изменится его нагрузочная способность по прочности тела заклепки на смятие?

1. Уменьшилась в два раза.

2. Не изменилась.

3. Увеличилась в два раза.

4. Увеличилась в четыре раза.

Примечание. Толщины накладок и детали одинаковые.

- Что такое коэффициент прочности заклепочного шва?

1. Отношение площади отверстий под заклепки в опасном сечении детали к площади оставшегося сечения.

2. Отношение площади отверстий под заклепки к площади всего сечения.

3. Отношение площади оставшегося сечения к площади всего сечения.

4. Отношение площади всего сечения к площади оставшегося сечения.

- Какими считаются соединения с гарантированным натягом?

1. Разъемными.

2. Частично разъемными.

3. Разъемными в некоторых случаях.

4. Неразъемными.



- Сборка соединений с гарантированным натягом может осуществляться:

1. прессованием;

2. прессованием с подогревом охватывающей детали;

3. нагреванием охватывающей детали;

4. охлаждением охватываемой детали.

Какой метод повышает надежность и несущую способность соединения?

- Как можно нагружать соединение с гарантированным натягом?

1. Только осевой силой.

2. Только крутящим моментом.

3. Только изгибающим моментом.

4. Осевой силой, крутящим и изгибающим моментами одновременно.

- При проверке прочности соединения с гарантированным натягом выяснилось, что ступица (охватывающая деталь) недостаточно прочна. Было предложено:

1. Увеличить ее длину.

2. Увеличить длину и наружный диаметр.

3. Увеличить наружный диаметр.

4. Улучшить материал.

Какое из предложений лишено физического смысла?

- Как соединение с гарантированным натягом влияет на усталостную прочность валов?

1. Снижает.

2. Повышает.

3. Не влияет.

4. В зависимости от конструкции может и снижать и повышать.

- При каком из указанных ниже способов сборки соединения с гарантированным натягом следует стремиться к максимальной чистоте обработки контактирующих поверхностей?

1. Прессование.

2. Прессование с подогревом охватывающей детали.

3. Нагреванием охватывающей детали.

4. Охлаждением охватываемой детали.

- В соединениях с гарантированным натягом меняют первоначальные размеры - непосадочные диаметры деталей. Если полый вал заменить сплошным, каким станет наружный диаметр ступицы при прочих равных условиях?

1. Больше.

2. Меньше,

3. Не изменится.

4. Будет зависеть от первоначального соотношения посадочного и внутреннего диаметров вала.