Конспект лекций по дисциплине «Технология производства РЭА»

Процессы технологические. Основные термины и определения.

Производственный процесс – совокупность действий, в результате которых сырьё, материалы, полуфабрикаты, поступающие на завод, превращаются в готовую продукцию.

Классификация производственных процессов на основании различных признаков представлена на рис.2.

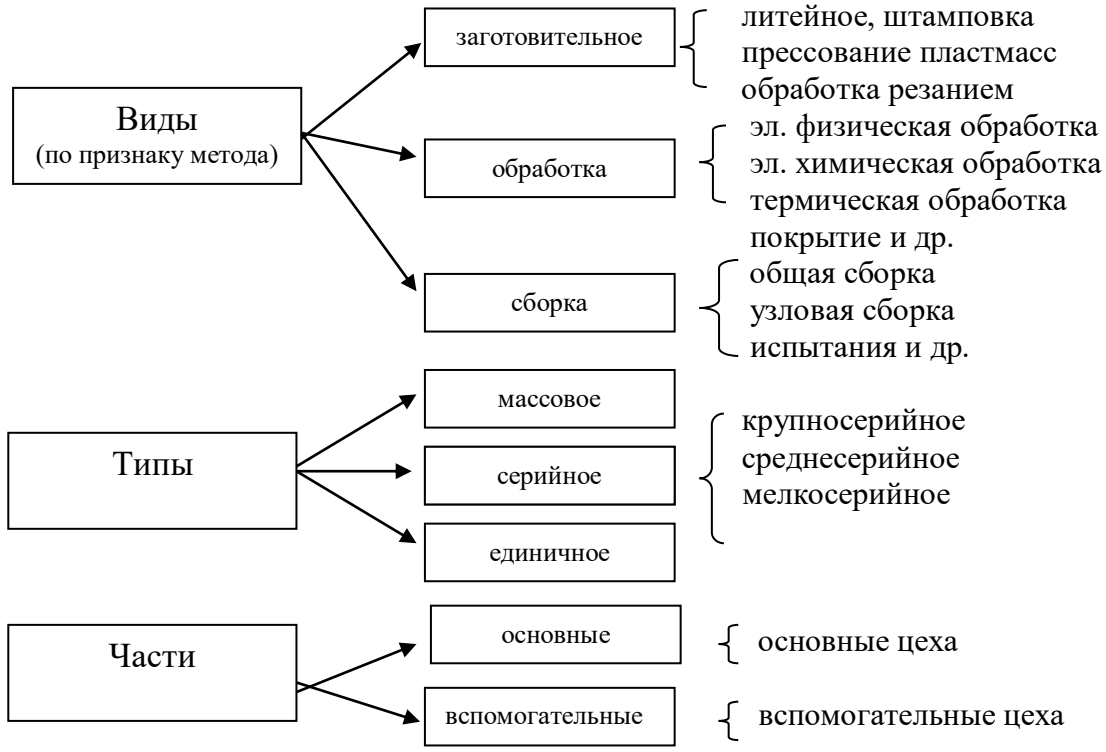


Рис. 2 – Классификация производственных процессов.

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций $K_{ЗО}$.

$$K_{ЗО} = \frac{O}{P} \ ,$$

где О – число различных операций, выполняемых в единицу времени;

Р – число рабочих мест, выполняющих различные операции.

$1 = K_{ЗО} \le 10 -$ *массовое, крупносерийное*

$10 < K_{ЗО} < 20 -$ *среднесерийное*

$20 < K_{ЗО} \le 40 -$ *мелкосерийное*

не нормировано – *единичное*

В реальной практике бывает трудно подсчитать коэффициент закрепления операций, и тип производства определяется в соответствии с объемом выпуска. Так к серийному производству относится объем выпуска $V_{сер}$ = от 10 до 100 и 1000 ч при регулярно повторяющемся производстве.

Тип производства – классификационная категория, выделяется по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объёма выпуска изделий (табл.1).

Таблица 1

характеристики	единичное	серийное	массовое
номенклатура	широкая	Периодически повторяющаяся	Узкая
регулярность	нерегулярная		регулярная
стабильность	нестабильная		стабильная
объём выпуска	Малый (штуки, десятки штук)	Сравнительно большой (десятки, сотни, до тысяч) Регулярное повторение	Большой
оборудование, оснастка	универсальное оборудование	Оснастка универсальная, в основном специализированное оборудование	специальное, поточные линии
Квалификация рабочих	очень высокая	Средняя	Низкая
Уровень механизации	Низкий	Сравнительно высокий	Высокий
Стоимость аппаратуры	Высокая	Средняя	ниже
Коэффициент закрепления операций	—	10-40	1-10

Производственный процесс включает в себя не только непосредственные действия, направленные на изменение форм и свойств, обработку деталей и сборку из них приборов, но и все необходимые для этих действий факторы:

- подготовку производства
- материально техническое снабжение
- ремонт оборудования
- транспорт и др.

В производственном процессе заготовки, изделия, инструмент, приспособления, вспомогательные материалы, отходы периодически перемещаются каждый по своему маршруту через технологическое оборудование, транспортные устройства, склады, накопители, производственные участки и отделения (рис.2).

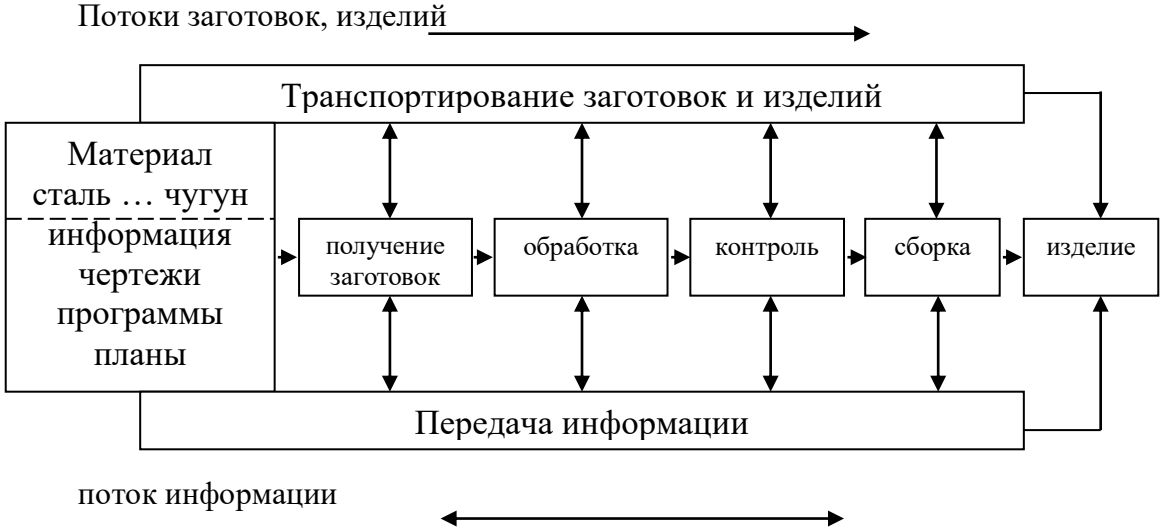


Рис.2. Потоки заготовок, изделий, информация в производственном процессе.

В соответствии с этим различают в производстве **части** :

- основное производство
- вспомогательное производство

Основное производство – производство изделий для поставки, т.е. процессы изготовления основной продукции завода, предусмотренные планом. Основное производство включает в себя:

- получение заготовок
- изготовление деталей
- сборку узлов
- сборку общую
- регулировку и испытание РЭА

В соответствии с этим цеха, занятые этим производством, называют *основными*.

Вспомогательное производство – производство средств, необходимых для функционирования основного производства. К вспомогательному производству относятся:

- изготовление и производство средств технологического оснащения
- производство и подача сжатого воздуха, тепловой и электрической энергии и т.д.

В соответствии с этим цеха называют:

- ✓ инструментальными
- ✓ электромонтажными
- ✓ ремонтно-механическими
- ✓ ремонтно-строительными
- ✓ транспортными и т.д.

Опытное производство – производство образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или разработки конструкторской и технологической документации для установившегося производства.

Установившееся производство – производство изделий по окончательно отработанной конструкторской и технической документации.

Вид производства – классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления: литейное, сварочное, сборочное и т.д..

Трудоёмкость производства электронных узлов может быть представлена в соотношении:

- обработка 8-15%
- сборка 15-20%
- электромонтаж 40-60%
- наладка 20-25%

Вид продукции характеризуется её назначением, конструкцией, техническими характеристиками, показателями качества.

Характеристики производственных процессов

Объём выпуска изделий – количество изделий определённого наименования, типоразмера и исполнения, изготовляемых или ремонтируемых предприятием или его подразделениями в течении планируемого интервала времени.

Программа выпуска изделий – перечень наименований, изготовляемых или ремонтируемых изделий с указанием объёма выпуска и срока выполнения по каждому наименованию.

Производственная мощность – расчётный максимально возможный в определённых условиях объем выпуска на единицу времени.

Производственный цикл – интервал календарного времени от начала до окончания процесса изготовления или ремонта изделия.

Технологический процесс

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

ТП изготовления аппаратуры, как правило, комплексный процесс, правильное построение которого возможно лишь на основе его предварительного проектирования.

Проектирование ТП изготовления РЭА неизбежно влечёт за собой предварительную разбивку его на отдельные специфические технологические операции.

Технологические операции (ТО) – законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте. Например, операциями будут штамповка пластин трансформатора, пропитка катушек, отжиг пластин трансформатора.

Для ТО характерна неизменность оборудования или рабочего места и рабочих исполнителей, а также непрерывный процесс. Если намотка трансформатора, например, осуществляется на трёх станках, то выполняются три намоточные операции.

Операция ТП – это единица производственного планирования на основе суммирования времени на отдельные операции, определяют потребности в рабочей силе, планируют загрузку оборудования и др.

Операции делят на *установ, позиции* и *переходы*.

Установка – часть ТО, выполняемая при неизменном закреплении.

Пример: при намотке секций многослойной секционированной безиндукционной обмотки, чтобы получить противоположное направление витков, каркас поворачивают на 180^0 при заполнении одной секции проводом и вновь закрепляют в шпинделе намоточного станка.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закреплённой обрабатываемой заготовкой или сборочной единицей совместно с присоблением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определённой части операции.

Пример: при наматывании на один каркас нескольких универсальных обмоток с определёнными промежутками между ними приходиться перемещать каркас в приспособлении намоточного станка, и каждое новое положение является позицией намоточной операции.

Переход – законченная часть ТО, характеризующаяся постоянством режимов, применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединением при сборке. Признаком начала нового перехода определяет изменение одного из элементов:

- технологического режима;
- инструмента или набор инструментов;
- обрабатываемой детали.

Пример: установление каркаса, вывод выводного конца обмотки, сращивание провода с выводом, пайка, прикрепление конца выводов к каркасу, намотка.

Подготовка ЭРЭ к монтажу: рихтовка, лужение, формование.

Характеристики ТП

Цикл ТО – интервал времени от начала до конца периодически повторяющихся операций независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

Такт выпуска – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определённого наименования, типоразмера и исполнения.

Трудоёмкость – количество времени, затрачиваемое на выполнение ТП или его части.

Чаще всего рассматривается трудоёмкость операции:

$$t_{шт} = t_{от} + t_{в} + t_{об} + t_{д} \ ,$$

где

$t_{от}$ – основное технологическое;

$t_в$ – вспомогательное (установка и закрепление, пуск и остановка станков, подвод и отвод инструмента, перемещение детали на станке);

$(t_{от}+ t_в)= t_{оп}$ – оперативное время;

$t_{об}$ – время обслуживания рабочего места:

- техническое – подстройка системы, смена инструментов, удаление стружки с рабочих органов;
- организационное – чистка, смазка, приведение станка в порядок.

$t_д$ – время перерывов на отдых и естественные надобности рабочего.

$t_{об}$ и $t_д$ задается в процентах к $T_{оп}$.

Для серийного производства определяется штучно-калькуляционное время:

$$t_{шт\,К} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad ,$$

где $t_{пз}$ – время на приёмы, производимые рабочим один раз на всю партию,:

- ознакомление с чертежом и ТП
- подготовка рабочего места
- наладка станка
- получение и сдача работы
- уборка станка после окончания работы.

Производительность – количество изделий, изготавливаемых в единицу времени:

$$П = \frac{Ф}{\sum t_{штК}} \quad ,$$

где

Ф – фонд рабочего времени.

Экономичность ТП – технологическая себестоимость:

$$C_т = C_м + C_з + C_{цр} \quad ,$$

где

$C_м$ – стоимость материалов;

$C_з$ – заработная плата;

$C_{цр}$ – цеховые расходы (эл. энергетические, ремонт и амортизация оборудования, инструмента, оснастки, смазка, охлаждение и др. материалы).

Точность ТП – степень соответствия параметров качества изделия допускаемым отклонениям согласно ТУ и КД. Оценивается такими параметрами, как, например, процент выхода годных, коэффициент точности, коэффициент смещения.

Надёжность ТП – свойство ТП обеспечивать изготовление продукции требуемого уровня качества с регламентированным тактом выпуска при установленных трудовых и материальных затратах.

Стабильность ТП – свойство ТП сохранять во времени параметры и закон распределения погрешностей качества изделия.

.

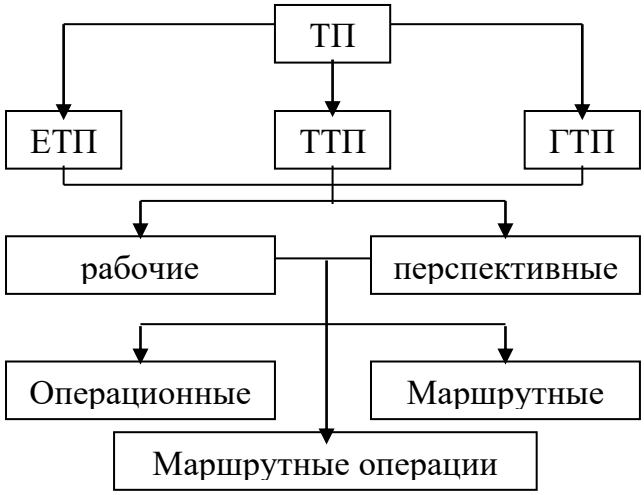
Виды ТП. Классификация ТП

признаки
классификация

форма организации ТП
(по методу разработки)

освоенность процесса

по степени детализации
описания ТП



Единичный технологический процесс (ЕТП) – ТП изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

ЕТП разрабатывается только на уровне предприятия и должен обеспечивать:

- реализацию базовых показателей технологичности конструкции изготовляемых изделий;
- возможность изготовления предмета производства в полном соответствии с рабочей КД на изделие;
- соблюдение правил ТБ и промышленной санитарии.

Типовой технологический процесс (ТТП) – ТП изготовления группы изделий с общими конструкторскими и технологическими признаками.

ТТП разрабатывается на основе анализа множества действующий и возможных ТП на типовые представители групп изделий.

Типизация базируется на классификации объектов производства по признакам, содержащимся в КД. Типизацию ТП осуществляют на уровне предприятия или отрасли.

Групповой технологический процесс (ГТП) – ТП изготовления группы изделий с различными конструкциями, но общими технологическими признаками.

ГТП разрабатывается с целью экономически целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства.

Обязательным этапом, предшествующим разработке ГТП, является группирование предметов производства по технологическому подобию с учётом основных факторов организации производства.

При этом анализируется:

- состав и программа выпуска изделий;
- структура производственных подразделений;
- технико-экономические показатели производства.

ГТП разрабатывается для всех типов производства только на уровне предприятия.

Рабочим ТП, называется ТП изготовления одного или нескольких изделий в соответствии с требованиями принятыми для данных условий производства рабочей технологической документации.

Перспективным ТП, называется ТП, разрабатываемый как информационная основа для проектирования рабочих ТП при техническом или организационном перевооружении производства, предусматривающем применение более совершенных методов обработки, более производительных и экономически эффективных СТО и изменении принципов организации производства.

В зависимости от степени детализации для документов ЕТП используется маршрутно-операционное (единичное, мелкосерийное производство) и операционное (среднесерийное, крупносерийное, массовое производства) описания ТП.

При операционном описании ТП маршрутная карта (МК) выполняет роль сводного документа, содержащего данные в технологической последовательности по всем операциям процесса с указанием номеров цехов, участков, рабочих мест, операций, наименования операций, состава документов, используемых при выполнении операции, оборудования и трудозатрат. В соответствующей операционной карте (ОК) или ведомости операций (ВОП) описывается каждая операция с указанием переходов, режимов обработки, технологической оснастки.

В МК для всех операций может быть принято операционное описание, а дополнительная информация по наладке оборудования, технологическим режимам и т.п., относящаяся ко всему ТП, указывается в соответствующей картой технологической информации (КТИ).

Для ТП, использующих один вид обработки, вместо МК может использоваться карта технологического процесса (КТП).

При маршрутно-операционном описании ТП МК выполняет роль основного документа, где для большей части принято маршрутное описание (без указания переходов и режимов обработки), и для отдельных операций – операционное в ОК, ВОП, КТИ с последующей ссылкой в МК на обозначение указанных документов.

Средства выполнения ТП

Технологическое оборудование – орудия производства, в которых для выполнения определённой части ТП реализуются материалы и заготовки, средства воздействия на них и, при необходимости, источники энергии.

Технологическая оснастка – орудия производства, добавляемые к технологическому оборудованию для выполнения определённой части ТП.

Средства технологического оснащения (СТО) – совокупность технологического оборудования и оснастки и средств механизации и автоматизации вспомогательных переходов. Классифицируются на универсальные, специальные, специализированные.

Специальным называется оборудование, сконструированное и изготовленное для выполнения одной определённой операции. Перестройка такого станка на выполнение других операций в процессе производства невозможна или может быть выполнена со значительной модернизацией.

Специализированным называется оборудование, специально сконструированное для изготовления изделий со сходными ТП.

Специализированные станки не универсальны, но их можно перестраивать на обработку определённой группы изделий.

Линия – совокупность технологического, основного и вспомогательного (транспортного, подъёмного, установочного и т.п.) оборудования (не менее двух единиц), расположенного в последовательности операций ТП.

Механизированные линии – линии, в которых механизирована технология транспортировки и других вспомогательных операций.

Автоматические линии – система устройств для автоматического выполнения технологических, транспортных и других вспомогательных операций без участия человека, функции которого сводятся к наладке, наблюдению и управлению.

Автоматизированные линии – линии, на которых выполняются автоматически не все функции загрузки, разгрузки, перемещения и другие.

Технологическая дисциплина

Повышение качества продукции является одной из основных задач технологов РЭА. Технологическое обеспечение высокого качества РЭА предусматривает высокую культуру производства, т.е. хорошо обученный и дисциплинированный персонал, состояние технологического оснащения на требуемом техническом уровне в пределах допустимого износа, точное соблюдение режимов при малой погрешности, измерений их параметров, однородность поступающих материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий по установочным показателям, рациональная организация контроля, соблюдение гигиены производства. За эти вопросы отвечает технолог.

Нарушение каждого из перечисленных пунктов приводит к появлению дефектов. Технолог должен уметь выделять причины связи дефектов с вызывающими их факторами.

Технологическая дисциплина – это соблюдение точного соответствия ТП требованиям конструкторской и технологической документации.

Организация контроля технологической дисциплины – одна из задач главного технолога.

Организуется систематический контроль силами и средствами предприятия и ведомственный контроль – с применением сил и средств проверяемого предприятия.

При проведении контроля проверяют:

- соблюдение последовательности операций и переходов;
- соответствие наименования оборудования, оснастки и средств контроля требованиям ТД;
- соответствие материалов и комплектующих изделий требованиям ТД;
- обеспечение рабочих мест КД и ТД;
- соответствие состояния оборудования, оснастки и средств контроля эксплуатационным документам;
- обеспечить выполнение безопасности операций.

Результаты проверок оформляются протоколом.

Контроль может быть:

- систематический
- инспекционный
- летучий

- ведомственный.

Систематический контроль – осуществляют технологи, представители ОТК (отдел технического контроля) и производственные мастера (начальники участков).

Инспекционный контроль – осуществляют технологи, ОГТ (отдел главного технолога), представители ОТК, представители цеха.

Летучий контроль – осуществляется представителями заказчика.

Ведомственный контроль – осуществляется представителями Министерства, главной инспекцией по качеству.

Технология сборки и монтажа контроля и регулировки РЭА

ТП сборки - совокупность операций, в результате которых происходит образование разъемных или неразъемных соединений составных частей изделия.

Простейший сборочный элемент - деталь.

Деталь - изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Сборочная единица - изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии изготовителем сборочными операциями.

Объектом сборки является комплексная составная часть изделия или изделие в целом. В связи с этим различают *узловую сборку,* объектом которой является составная часть изделия, ***общую сборку,*** объектом которой является изделие в целом.

По стадии процесса различают следующие виды сборки:

- *предварительная* - сборка составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке;
- *промежуточная* - сборка заготовок, выполняемая для дальнейшей их совместной обработки;
- *окончательная* - сборка изделия или его составных частей, после которой не предусмотрена их последующая разборка при изготовлении.

По методу образования соединения различают следующие виды сборки:

- *слесарная* - сборка изделия или составных частей при помощи слесарно-сборочных операций;
- ***монтаж*** - установка изделия или его составных частей на месте использования;
- *электромонтаж* - монтаж электроизделия или его составных частей, имеющих токоведущие элементы.

По последовательности сборка может быть: последовательная, операции выполняются одна за другой; параллельная с одновременным выполнением операций; последовательно-параллельная, когда операции выполняются частично одновременно и частично следуют одна за другой.

По расположению оси сборки в пространстве - вертикальная, горизонтальная, наклонная.

По виду сборочного движения выделяют прямолинейные, вращательные, винтовые, криволинейные, плоское криволинейное пространство и комбинированные сборки.

По числу одновременных собираний изделий: одного, нескольких.

Организация ТП сборки

ТП сборки организационно может быть стационарным или подвижным, а также с концентрацией или дифференциацией операций.

Стационарной называется сборка, при которой собираемый объект неподвижен; изделие полностью собирают на одном рабочем месте.

Подвижная сборка характерна тем, что сборочная единица перемещается по рабочим местам, на каждом из которых выполняется определенная операция.

Сборка по принципу **концентрации** операций заключается в том, что на одном рабочем месте производится весь комплекс работ по изготовлению изделия или его частей. При этом повышается точность сборки, упрощается нормирование. К недостаткам относятся большая длительность цикла сборки, сложность механического и автоматического технологического оснащения. Применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

Дифференциация сборки предполагает расчленение сборочных работ на ряд последовательных простых операций. При этом есть возможность автоматизировать и механизировать технологическое оснащение, использовать рабочих низкой квалификации, сокращается цикл сборки, объем незавершенного производства и производственные площади.

Выделяют четыре основных организационных принципов ТП сборки.

Параллельность - одновременное выполнение частей или всего ТП. Использование этого принципа обусловлено конструкцией РЭА, степенью ее расчленения на сборочные единицы.

Прямоточность ТП - при организации ТП стремятся обеспечить кратчайший путь прохождения изделия по всем операциям. Любые отклонения от прямоточности усложняют процесс сборки, удлиняют цикл изготовления РЭА.

Непрерывность ТП сборки предусматривает сокращение или полное устранение межоперационных и внутриоперационных перерывов.

Ритмичность предполагает выпуск в равные промежутки времени одинаковых количеств продукции.

Форма организации ТП зависит от порядка выполнения операций ТП, расположение технического оборудования, количества изделий и направления их движения в процессе изготовления.

Установлено 2 формы организации ТП: групповая и поточная.

Групповая форма организации ТП характеризуется однородностью конструкторско-технологических признаков изделий, единством СТО одной или нескольких ТО и специализацией рабочего места.

Основой при групповой форме организации ТП является группирование изделий по техническим и конструкторским признакам с учетом трудоемкости обработки и объема выпуска. По результатам анализа групп изделий устанавливается профиль специализации каждого структурного подразделения предприятия (цеха, участка и т.д.). Окончательно номенклатуру изделий устанавливают после расчетов загрузки оборудования.

Поточная форма организации ТП характеризуется:

- специализацией каждого рабочего места на определенной операции;
- согласованным и ритмичным выполнением всех операций ТП на основе постоянства такта выпуска;
- размещением рабочего места в последовательности, строго соответствующей ТП;
- передача изделия на каждую следующую операцию происходит немедленно после окончания предыдущей.

Поточная сборка характеризуется непрерывностью ТП, построенного на дифференционных операциях, и выпуском готовых изделий через определенный промежуток времени, называемым тактом выпуска

$$\tau = Fg / Np \ ,$$

где Fg - действительный годовой фонд работы линии с учетом числа смен и времени регламентированных перерывов;

Np - расчетная программа выпуска изделий, учитывающая возможные технологические потери.

Число рабочих мест на линии

$$Cp = \Sigma ci = Tшт/\tau \qquad Ci = Tшti/\tau \ ,$$

где Ci - число рабочих, выполняющих i-ю операцию,
Тшт - трудоемкость сборки изделия,
Тшti – трудоемкость i-операции.

Продолжительность сборки изделия на поточной линии $Tсб = Cp \cdot \tau$.

Операция сборки требует тщательной разработки ТП. ТП сборки разделяются между отдельными рабочими местами так, чтобы на всех рабочих местах была одинаковая загрузка

$$\eta зi. = Tшti / \tau \ , \qquad 0,9 < \eta з < 1,1 \ .$$

Практика показывает, что наилучшие технико-экономические показатели (себестоимость изделия, срок окупаемости, надежность) имеют поточные линии (ПЛ) с числом рабочих мест от 10 до 50. Если число рабочих мест <10, то организация самостоятельной линии сборки нецелесообразна. При числе рабочих мест >50, создается несколько линий, исходя из наличия свободных площадей.

На предприятиях изготавливаются изделия широкого ассортимента в сравнительно небольших количествах, величина такта выпуска каждого изделия значительно превышает длительность большинства производственных и контрольных операций (2-5мин). В этих условиях построение однономенклатурных поточных линий для каждого отдельного наименования объекта становится невозможным. В этих случаях используются многономенклатурные поточные линии.

В случаях использования многономенклатурных поточных линий возможны 2 варианта расчетов в зависимости от трудоемкости собираемых на линии изделий.

1. Трудоемкости собираемых на линии изделий равны:

$$T1 = T2 = T3 = \ldots = Tm = T$$

Такт линии: $\tau = Fg / (Np1+Np2+\ldots..+Npm) = Fg / \Sigma Npi$

Число рабочих мест на линии как для однономенклатурной поточной линии:

$$Cp=T/\tau \ .$$

2.Трудоемкости собираемых изделий не равны $T1 \neq T2 \neq T3 \neq \ldots \neq Tm$.
Возможны 2 варианта:

1. Сохраняя одинаковое число рабочих мест на конвейере при сборке разных изделий, установить для каждого из них свой такт выпуска. Используется, когда разная трудоемкость определяется различием объема работы по всем операциям или по большинству.

   $$Cp = \Sigma Npi \cdot Ti / Fg$$

   $$\tau 1= Ti / Cp \ , \quad \tau 2 = T2 / Cp, \quad \ldots, \quad \tau im = Tim / Cp \ .$$

2. Сохраняя для всех предметов одинаковый такт и скорость конвейера, изменить количество рабочих мест по изготовлению каждого наименования изделия. Используются в тех случаях, когда по трудоемкости отличаются лишь некоторые операции. Число занятых рабочих мест тогда:

   $\tau=Fg/\sum Ni$ (мин) $Cpi= Toni/\tau$

При поточном методе узловую сборку целесообразно располагать перпендикулярно линии общей сборки изделия таким образом, чтобы конечная операция сборки узла совершалась вблизи места установки его на линию общей сборки (рис.3).

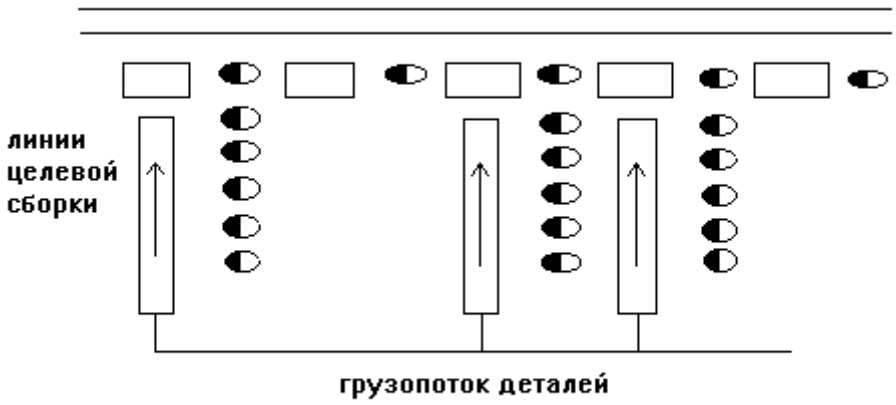


Рис.3

Узловая сборка может быть организована в другом цехе или участке (рис.4).

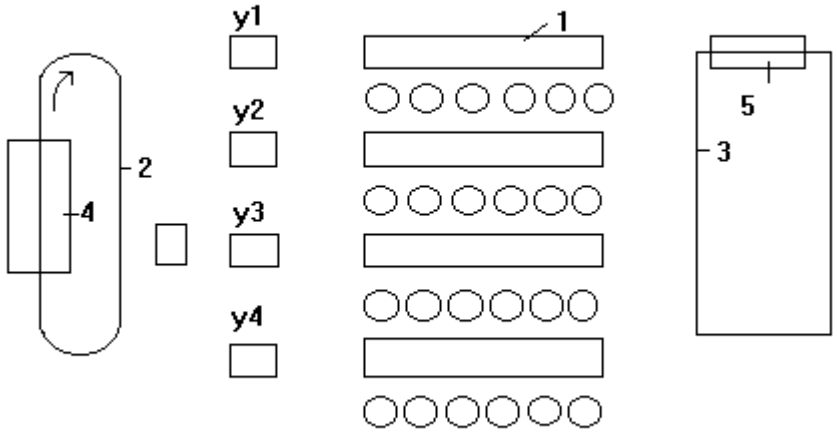


Рис.4 .

На рис. 4 цифрами обозначены: 1 - конвейер узловой сборки, 2,3-транспортные конвейеры, 4,5-комплектовочные кладовые. Комплектовочная кладовая 4 подает детали для сборки узлов в таре определенного цвета, в комплексную кладовую 5 устанавливаются детали, не вошедшие в узлы. Транспортный конвейер 3 подает узлы и детали со склада 5 на общую сборку.

Основными техническими предпосылками построения многономенклатурных поточную линию в серийном производстве является:

1. Унификация и стандартизация конструкций изделия, максимальная конструктивная приемлемость новых изделий.
2. Типизация ТП, технологического оснащения, накладки оборудования.

На этих линиях существуют следующие виды чередования изделий:

- последовательно-партионные
- параллельные-одновременная сборка разных изделий на разных рабочих местах одного общего транспортера (совмещение на одном конвейере нескольких однономенклатурных ПЛ)
- смешанные.

Применяются также ПЛ, основанные на принципе совмещения на рабочих местах одинаковых операций, выполняемых в каждый период такта последовательно по всем сходным в конструкторском и технологическом отношении изделиях, образующим «набор». Расчет ПЛ идет по «комплекту изделий».

Каждая операция над набором изделий должна выполнятся без переналадок. Время выполнения операции на одном рабочем месте по всему набору предметов должно быть равно или кратно такту выпуска.

Проектирование поточной линии сборки включает решение следующих задач:

1. Определение максимальной численности рабочих с учетом 10….15% резервирования, мест комплектовщиков и контролеров.

2. Выбор и расчет транспортных средств или конвейеров.
3. Расчет необходимых заделов и составление стандарт-плана работы линии.
4. Выбор технологического оснащения для каждого рабочего места.
5. Планировка рабочего места и всего участка.
6. Организация подачи на линию деталей, сборочных единиц и материалов.
7. Разработка систем планирования и диспетчерского учета работы.

В производстве мелких по размерам, и весу узлов такты линий получаются незначительными по величине и измеряются секундами. Для уменьшения вспомогательного времени, удобства транспортировки, планирования и учета работы, уменьшения скорости работы транспортера и т.д., выпуск каждого предмета на линии можно организовать не по штучному такту, а по такту "условного объекта"- пачки параметров одного типоразмера, передаваемых по транспортеру и распределяемых им на рабочие места в соответствующей таре.

Классификация видов соединений

В качестве основных признаков классификации соединений приняты следующие: подвижность соединений, форма поверхностей, метод образования соединений.

Целостность соединения классифицирует состояние соединения при его разборке.

Неразъемные соединения – разборка возможна только при разрушении материала или деталей, используемых для соединения (склепывание, сварка, пайка, склеивание).

Разъемные соединения – допускается полная разборка цепи на отдельные детали(резьбовые).

Подвижность составных частей характеризует возможность относительного перемещения составных частей в изделии:

- подвижные соединения
- неподвижные соединения

Форма поверхностей характеризует основную геометрическую форму сопрягаемых поверхностей составных частей изделия:

- плоское
- цилиндрическое
- коническое
- сферическое
- винтовое
- профильное
- комбинированное

Метод образования соединений характеризует конструктивные и технологические особенности образования соединений при сборке составных частей изделия.

Сварка – процесс получения неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или при

совместном действии того и другого. Сваркой соединяются детали из металла, керамики, пластмасс, стекла и т. д. Существует более 60 способов сварки.

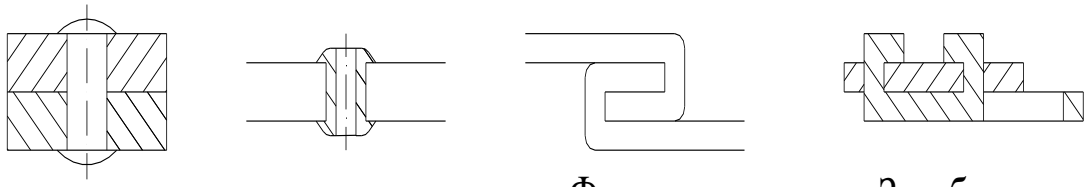
Пайка – процесс получения неразъемного соединения путем нагрева места пайки и заполнения зазора между соединяемыми деталями расплавленным припоем с его последующей кристаллизацией.

Склеивание – процесс получения неразъемного соединения с помощью склеивания. Действие клеев основано на образовании между ними и склеиваемыми материалами адгезионной связи.

Запрессовка – процесс получения неразъемного соединения деталей с использованием сил упругой деформации (натяга), когда диаметр охватывающей детали меньше диаметра охватываемой детали.

Склепывание – соединение деталей с помощью заклепок.

Развальцованное соединение – соединение составных частей изделия с применением расширения охватываемой или сжатия охватывающей детали.



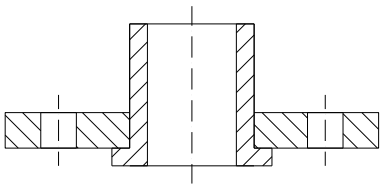
Фальцованное соединение – соединение составных частей изделия с применением совместного загибания кромок у них.

Скручивание и намотка – способ соединения проводов для создания диффузионного соединения и электрического контакта.

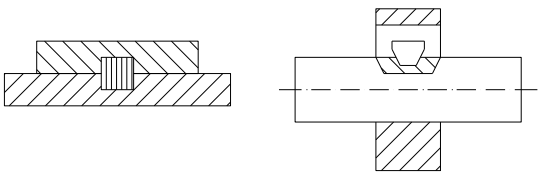
Чеканка и гибка – соединение деталей за счет местной деформации материала одной из них, путем отгибания лапок, лепестков и т. п.

Термоусаженное соединение – соединение деталей с помощью полимерных материалов, увеличивающих свои размеры при нагреве или при оплавлении в органических растворителях.

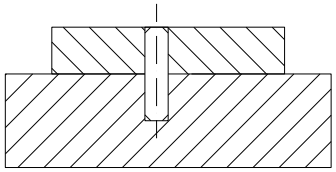
Фланцевое соединение – соединение деталей типа труб с помощью фланцев.



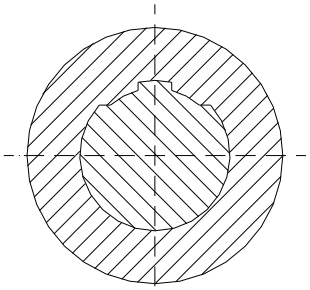
Шпоночное соединение – используется для закрепления и фиксации деталей с помощью призматических, сегментных и др. шпонок.



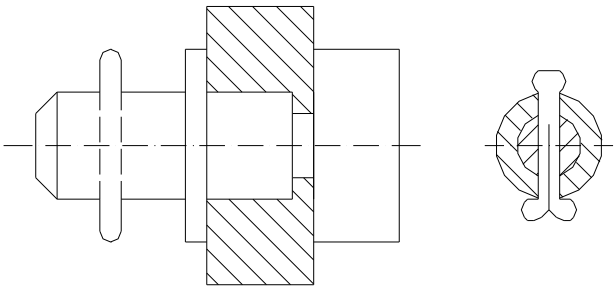
Штифтовое соединение – используется для закрепления и фиксации деталей с помощью цилиндрических и конических штифтов.



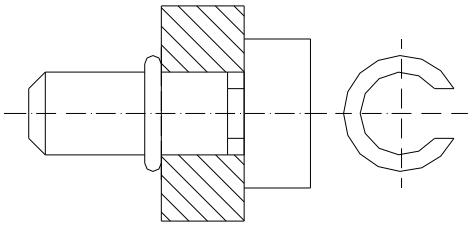
Шлицевые соединения – соединения с применением пазов и выступов.



Шплинтовое соединение – соединение составных частей изделия, при котором шплинт ограничивает возможность их относительного перемещения.



Пружинное соединение – используется пружина или пружинное кольцо, которые ограничивают взаимное перемещение деталей.



Замковое соединение – замок ограничивает или исключает возможные относительные перемещения или поворот составных частей.

Гвоздевое – при помощи гвоздей, исключающие возможность относительного перемещения составных частей.

Сшивное – соединение с применением ниток, ремней, шнуров, проволоки.

Резьбовое – соединение, выполненное с помощью винтов, болтов, шпилек.

Шарнирное – соединение составных частей изделия, допускающее их относительное вращение вокруг любой оси, проходящей через определенную точку.

Методы обеспечения точности выходных параметров изделий при сборке

Правильно разработанный ТП сборки должен обеспечивать размерную взаимозаменяемость.

Взаимозаменяемость обеспечивается расчетами, основанными на РЦ.

При расчете допусков РЦ решаем следующие задачи:

1. Определение наибольших и наименьших значений замыкающего звена по заданным номинальным значениям и предельным отклонениям составляющих звеньев.
2. Определение наиболее рациональных допусков на составляющие звенья по заданному допуску на замыкающее звено.

Для решения РЦ применяют:

1. Метод расчета по предельным отклонениям (метод максимума и минимума)
2. Теоретико-вероятностный метод расчета.

РЦ представляет собой совокупность взаимосвязанных звеньев (размеров), которые образуют замкнутый размерный контур, и непосредственно участвуют в решение технологической зада

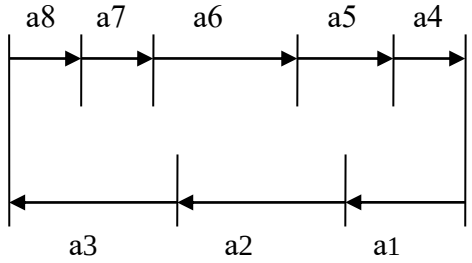


Рисунок 1.

В зависимости от геометрии: линейная, плоскостная, пространственная РЦ.

Звенья – замыкающие (одно на цепь, рассчитывается последними)
составляющие (увеличивающие и уменьшающие)

В сборочных цепях замыкающим может быть зазор между деталями, смещение основной симметрии, поворот между поверхностями, перекрытие деталей. Отличие для сборки – оно может быть равным нулю.

Увеличивающие – с их увеличением увеличивается замыкающее звено.

Основное уравнение РЦ

$$A_1\alpha_1 + A_2\alpha_2 + ... + A_i\alpha_i + \alpha_\Sigma = 0$$

$\alpha_1, \ldots, \alpha_\Sigma$ - номинальные значения всех звеньев цепи;

A_1, A_i – передаточные отношения составляющих звеньев на замыкающие.

Методы выполнения сборочных цепей.

Метод полной взаимозаменяемости: требуемую точность замыкающего звена размерной цепи достигают каждый раз, когда в размерную цепь включают без их выбора, подбора или изменения величин.

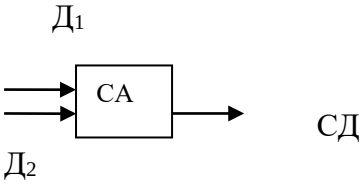


Рисунок 2. Метод ПВ

1. Отказ от контролирующего звена.
2. Контроль деталей .
3. Простота автоматизации.

Но: повышение точности изготовления составных частей влечет за собой повышение себестоимости.

Сборка с полной взаимозаменяемостью.

Достоинства:

- упрощение организации поточной сборки
- возможность широкой кооперации предприятий
- упрощение изготовления и снабжения запасными частями и ремонтом

Недостатки:

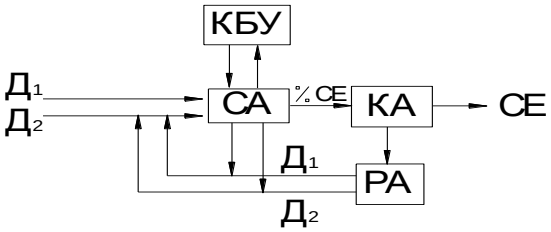
- допуски составляющих звеньев получаются меньшим, чем при других методах, что влечет высокую с/с изделий

Применяется в серийном и массовом производстве, в единичном – при сборке стандартных деталей. Используются при небольшом числе звеньев РЦ и достаточном размере допуска на замыкающее звено. Отвечает автоматизации сборки, использование его – признак высокой технологичности конструкции узлов и изделия.

Для расчета используют метод max-min.

Метод неполной (частичной) взаимозаменяемости.

Заключается в том, что требуемой точности замыкающего звена размерной цепи достигают не во всех размерных звеньях, а у подавляющего их большинства, когда в размерную цепь включаются все звенья без их выбора, подбора или изменения величин. При этом допускается определенный процент риска получения брака при сборке. Подсчеты показывают, что при риске брака менее 1 % и кол-ве звеньев больше 6 допуски на составляющие звенья можно расширить в 1,5-2 раза. В этом экономия от снижения точности образца деталей может превосходить издержки производства на сборку и доводку небольшого количества некондиционных изделий.



КБУ – контр блокировочное устройство;
КА – автоматический контроль;
РА – разбир. автомат.

Рисунок 3 – Метод неполной взаимозаменяемости.

1. 100 % контроль доп. контр. оп.
2. что усложн. и удор. сборку
3. допуски на изготовление деталей увеличиваются при той же точности замыкающего звена в Vm раз, где m – число составляющих звеньев, при 0,27 % риске и нормальном законе распределения.
4. дополнительная информация о наличии процента риска, требует дополнительных затрат времени, что снижает производительность.

Сборка с неполной взаимозаменяемостью.

Число деталей у которых замыкающее звено выходит за пределы требуемого допуска, обычно не более 1 %.

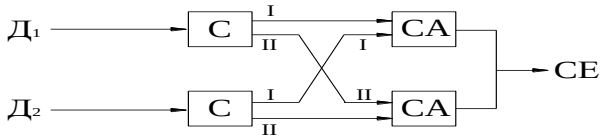
Достоинства: те же; позволяет расширить допуски на составляющие звенья (на 30-40 % и в 2 раза для многозвенных), что снижает с/с и упрощает сборку.

Недостатки: дополнительные затраты на замену или подгонку деталей у которых замыкающие звенья вышли за допускаемые пределы.

Автоматизация возможна, но могут быть нарушения стабильности процесса автоматической сборки. Поэтому увеличивается количество контроля контр-сортировочных и блокировочных установок в контроле процесса сборки, размеров, количества собираемых компонентов.

Расчет вероятностным методом.

При высокой точности замыкающего звена и малозвенной цепи применяют метод групповой взаимозаменяемости. Сущность метода: требуемая точность исходного замыкающего звена достигается включением в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп звеньев, на которой они предварительно рассортированы.



С – сортировочный автомат.

Рисунок 4 - Групповая взаимозаменяемость.

1. сборка сортируется на n групп и m составляющих СЕ изделия. Необх. m-n накопителей. Детали клеймят, что усложняет сборку.
2. требуется измерение деталей, т.е. доп. информации.
3. но допуски можно расширить в n раз.

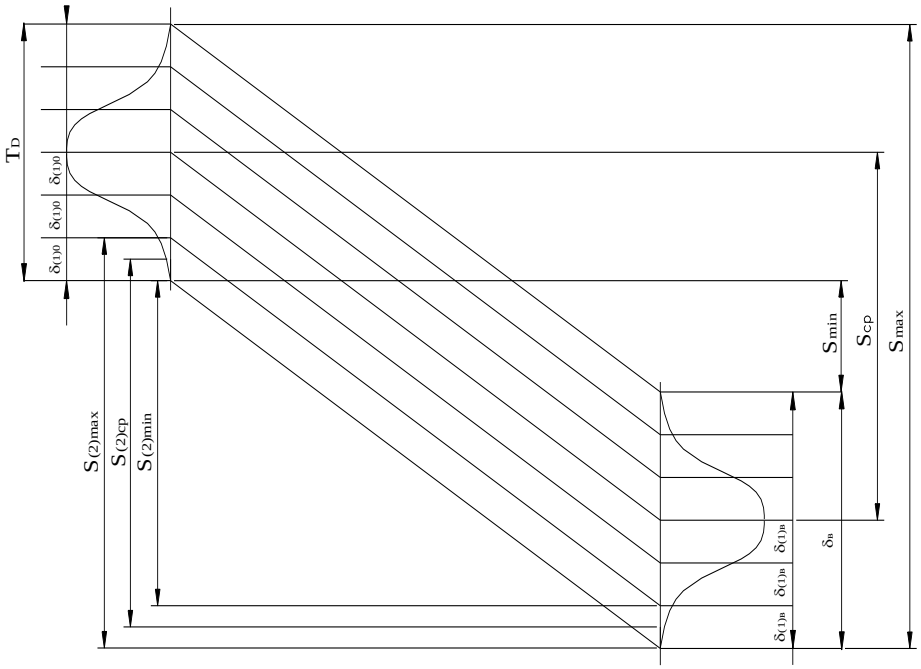
Селективная сборка.

Достоинства: достижение высокой точности замыкающего звена при экономически целесообразных технологических допусках сост. Размеров.

Недостатки:

- увеличивается незавершенность производства;
- дополнительные затраты на проверку, сортировку и маркировку деталей;
- необходимость хранения собираемых изделий по группам.

Рассмотрим сущность селективного метода групповой взаимозаменяемости.



Относительно нулевой линии ОО на отрезках полей рассеяния допусков $\delta_в$ и $\delta_о$ построены кривые распределения с одинаковыми площадями. Если собирать детали с такими допусками, величина которых в партии деталей (валов и контрдеталей, отверстий), состоящей из N единиц каждого вида деталей, является случайной, то получим широкий диапазон зазора в сопряжении от S_{min} до S_{max} при среднем заданном зазоре

$$S_{cp} = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$$

S_{max} - наибольший
S_{min} – наименьший зазор в сопряжении

Для сокращения диапазона зазоров при сохранении $S_{ср}$ отрезки $\delta_о$ и $\delta_в$ делят на равное число частей $\delta_о^{(1)}$, $\delta_о^{(2)}$, $\delta_о^{(3)}$… $\delta_в^{(1)}$, $\delta_в^{(2)}$, $\delta_в^{(3)}$.

Полученные однозначные отрезки $\delta_о^{(1)}$ и $\delta_в^{(1)}$; $\delta_о^{(2)}$ и $\delta_в^{(2)}$; $\delta_о^{(3)}$ и $\delta_в^{(3)}$ и т.д.соединяют наклонными линиями связи.

Число отрезков зависит от среднего зазора $S_{ср}=S_{ср}^{(2)}$ и заданного допуска и определяется по формуле

$$k = \frac{\delta_o + \delta_v}{S_{\max}^{(r)} - S_{\min}^{(r)}}$$

$S_{max}^{(r)}$ и $S_{min}^{(r)}$ – наибольший и наименьший заданный зазор при сопряжении в селективной группе.

Вероятность попадания р-ра х в заданный интервал (x_1, x_2) определяется выражением

$$p(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$

f(x) – плотность распределения.

Количество деталей в селективной группе границы которой совпадают с интервалами (x_1, x_2) кривой распределения можно найти по формуле

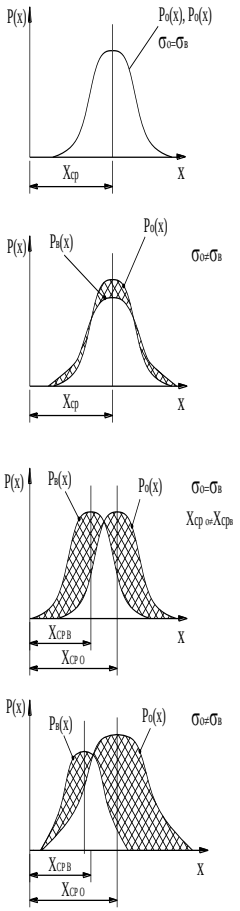
$$n(x_1, x_2) = N \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$

N – количество деталей в партии;

f(x) – плотность распределения вероятностей распределения размеров деталей в партии.

При автоматическом производстве деталей, когда на результатирующие параметры влияет большое количество случайных независимых факторов можно считать, что распределение отклонения соответствует нормальному. Тогда, если в сопряженных деталях поля рассеяния погрешности равны, т.е. $\delta_o = \delta_в$, отрезки, заключенные между линиями связи, содержат равное число деталей n_i и контрдеталей n_{i*} равное число деталей в однозначных группах обеспечивает сборку всех деталей без остатка.

В реальных условиях не получает требуемой стабильности размерных и других параметров деталей, и следовательно, и одинаковые кривые распределения отклонений, это неизбежно приводит к образованию избытка деталей.



Заштрихованные зоны на рисунке отражают количество избыточных деталей (левая сторона) и контрдеталей (правая сторона). Они могут быть дополнительно скомплектованы по программе индивидуальной селекции и с применением пригонки.

Группирование деталей на селективные группы может производится с помощью автоматов.

Если перечисленные методы не приемлемы то используют пригонку или регулировку.

Метод пригонки – требуемая точность замыкающего звена достигается в результате изменения величины одного из ранее намеченных составляющих звеньев путем снятия с него необходимого слоя материала.

Метод регулирования – точность замыкающего звена достигается по методу регулирования, когда необходима точность сборки достигающейся изменением (регулированием) одного из ранее выбранных составляющих размеров (компенсирующих).

Метод регулировки – требуемая точность достигается изменением величин заранее выбранного компенсирующего звена без снятия с него слоя материала.

Применяемость того или иного метода сборки диктуется обычно экономическими соображениями.

Все сказанное справедливо и при расчетах связанных с функциональной взаимозаменяемостью, где размерная цепь составляется не для геометрических величин, а для каких-либо физических характеристик РЭА.

Сборка с регулированием.

Достоинства:

- назначение экономически целесообразных допусков на составляющие размеры;
- регулирование не только при сборке, но и при эксплуатации.

Недостатки:

- усложнение конструкции и увеличение числа деталей;
- повышение трудоемкости.

Сборка с пригонкой.

Достоинства:

- экономически целесообразные допуски.

Недостатки:

- увеличение трудоемкости и с/с ;
- усложнение планирования производства.

Используется в единичном мелкосерийном производстве.

Методы соединений

Соединение за счет молекулярных сил сцепления (Ван-дер-Ваальс).

Вещество, твердое или жидкое, представляет собой систему атомов и молекул, связанных межатомными или межмолекулярными силами сцепления. Эти силы возникают в результате взаимодействия электронных оболочек атомов. Для всех частиц тела, кроме находящихся у его поверхности, силы сцепления взаимно уравновешены. Атомы или молекулы, расположенные у поверхности тела, имеют свободные связи и в определенных условиях могут присоединять к себе другие молекулы или атомы, адсорбировать газы либо вступать в связь с поверхностными атомами другого твердого или жидкого тела.

Таким образом, чтобы получить прочное соединение твердых тел, нужно обеспечить взаимодействие их поверхностных атомов. Для чего последние следует сблизить настолько, чтобы между ними могли возникнуть межатомные связи, то есть на расстояния порядка атомных радиусов. В жидкостях такое сближение достигается сравнительно легко за счет подвижности частиц, но для твердого тела возникают значительные трудности. Их поверхности даже при самой тщательной обработке имеют неровности, размеры которых по сравнению с размерами атома огромны. Возможность сцепления атомов соприкасающихся поверхностей затрудняются еще и тем, что в обычных условиях они всегда покрыты пленками оксидов, адсорбированных газов и всевозможных загрязнений.

Одним из основных способов соединения твердых материалов за счет молекулярных сил сцепления является сварка.

Развитие сварки.

Первые способы сварки возникли у истоков цивилизации – с началом использования и обработки металлов, то есть 6-7 тысячелетий до н. э.

Источники металлов тогда – самородки Au, Cu, Fe. Ковкой их превращали в листочки, а ковка с подогревом позволяла соединить кусочки в более крупные.

С освоением литейного производства возникла литейная сварка по так называемому способу промежуточного литья – соединяемые детали заформовывались, а место сварки заливалось расплавленным металлом.

С освоением Fe около 3000 лет назад стали очень широко применять кузнечную сварку, с помощью которой отдельные частицы металла сваривали в кусок сплошного металла. Многовековой опыт и интеграция позволили древним мастерам иногда получать сталь высокого качества (булат) и изделия поразительной красоты и совершенства.

Кузнечная сварка и пайка были ведущими процессами вплоть до конца 19 века., когда начался новый, совершенный период развития сварки. Возросло производство металла и изделий из него, многократно – потребность в сварочных работах. Началось стремительное развитие сварочной техники. Быстро развивались и новые источники нагрева: электрический ток и газокислородное пламя.

В 1802 году русский физик и электротехник В. В. Петров открыл электрическую дугу. Долгое время это открытие не использовалось из-за отсутствия источников тока, дававших дешевую энергию.

В 1882 году русский изобретатель Бекардос А. Н. впервые в мире применил дуговой разряд для сварки и резки металлов. Дальнейшие совершенствование дуговой сварки осуществил в 1888 году русский инженер Н. Т. Славенков (сварка дугой прямого действия), но царская Россия не смогла реализовать эти изобретения. Русское изобретение – дуговая сварка – было реализовано за границей – в США, Германии, Англии.

На родине дуговая сварка нашла применение после революции в период восстановление хозяйства и индустриализации страны. В 1932 году в Ленинграде был построен завод «Электрик» – в то время самый мощный завод по электросварочному оборудованию. Была организована подготовка кадров в учебных заведениях. Особенна велика роль Института электросварки АИ УССР им. Патона в Киеве, МВТУ им. Баумана и других институтов в проведении научных исследований по сварке. Возрос международный авторитет СССР в вопросах сварки.

Начало 20 века – разработан электрод, покрытый флюсом. Функции флюса:

- стабилизация дуги;
- обеспечение газового и флюсового слоя для защиты дуги и наплавленого металла от влияния атмосферы;
- регулирование взаимодействия флюс/металл и возможность добавления легирующих элементов в наплавленный металл.

1948 год – сварка с применением защитного газа.

$60^{-е}$ годы 20 века – разработаны многие процессы сварки плавлением:

- дуговая сварка порошковой проволокой в защитном газе и без него;
- электрогазосварка;
- дуговая сварка плавящимся электродом в смеси газов;
- электрошлаковая сварка.

Процесс образования сварного соединения

1. Образование физического контакта между поверхностями материалов.
2. Активизация контактных поверхностей.
3. Объемное развитие взаимодействия.
4. Кристаллизация.

Сближение на 10 – 100 нм, когда появляются силы физического межмолекулярного взаимодействия. Минимальный потенциал энергии соответствует физической адсорбции и завершает 1) стадию.

Контактирование вследствие шероховатости – не по всей площади, а только в местах контакта микровыступов с наибольшей суммой высот.

Рост единичных пятен.

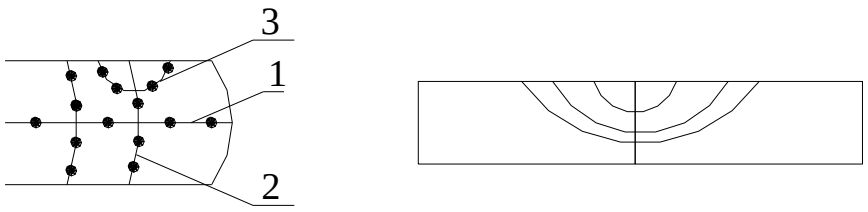
Активный центр упрощенно – это частицы со свободными валентностями, которые могут возникнуть при разрыве связей в кристалле, в местах образования дефектов. Для активизации вводится дополнительная энергия: тепловая, деформации, ультразвуковая.

Крупные очаги схватывания, коллективизация валентных е, образование металла связи.все большая часть сопряженных поверхностей в зоне контакта включается в соприкосновение друг с другом, очищается от оксидов и адсорбированных пленок. Происходит размножение и выход дислокаций на поверхность контакта и химическое взаимодействие с образованием прочных связей.

Кристаллизацией называется процесс образования зерен из расплавленного металла при переходе из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация металла сварной ванны начинается в зоне сплавления от твердых кромок свариваемых деталей. Началом кристаллизации являются неполностью оплавленные зерна на кромках металла. Они наращиваются затвердевающими частицами металла сварной ванны. Из сварной ванны появляются зародыши новых растущих зерен, к которым присоединяются зерна металла из сварной ванны.

Зародыши появляются первоначально на оси первого порядка перпендикулярно плоскости отвода тепла. Под углом к оси 1 порядка (1) растут зародыши на оси второго порядка (2) и образуются дендриты.



Под действием сил, появляющихся в процессе сварки и кристаллизации, металл сварочной ванны постоянно находится в движении. Эти силы придают металлу шва слоистый характер при любых условиях сварки. Сварной шов выглядит чешуйчатым. Находящиеся в сварной ванне примеси и загрязнения (окислы, шлаки и др.) имеют более низкую температуру затвердевания, чем металл; они располагаются по границам зерен, ослабляя их сцепление между собой и приводя к образованию трещин. Трещины также могут возникать за счет внутренних напряжений, действия водорода и т.д.

Сварка

В зависимости от условий, при которых осуществляется сваривание (образование межатомных связей) частиц металла различают:

- сварка плавлением
- сварка давлением

Согласно ГОСТ 2601-74 и ГОСТ 19521-74:

К сварке плавлением относятся:

- электродуговая
- электрошлаковая
- газовая
- плазменная
- электронно-лучевая
- лазерная.

Сварка давлением:

- контактная
- ультразвуковая
- диффузионная
- газопрессовая
- термитная
- холодная
- трением
- взрывом и др.

В зависимости от формы энергии:

- термическая: дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая.
- термомеханическая: контактная, диффузионная.
- механическая: ультразвуковая, взрыв, трение, холодная.

Сварка плавлением – металл по кромкам свариваемых деталей подвергается плавлению от нагрева сильным концентрированным источником тепла: электродугой, газовым пламенем, энергией электронного луча, лазерного луча, плазмой. Жидкий металл одной кромки соединяется с жидким металлом другой кромки. Создается общий объем жидкого металла, который называется сварной ванной. После застывания металла сварной ванны получается металл шва. Металл шва может обрабатываться только за счет переплавления металла по кромкам или дополнительного присадочного материала, введенного в сварную ванну.

Зона частично оплавившихся зерен металла на границе кромки детали и шва называется зоной плавления; в этой зоне достигается межатомная связь. Загрязнения, находящиеся на поверхности свариваемых частей, всплывают наружу, образуя шлак.

Сварка давлением – в месте соединения под действием силы P происходит пластическая деформация металла. Находящиеся на соединяемых поверхностях загрязнения вытесняются наружу, а поверхности

свариваемых частей будут чистыми, ровными и сближенными по всему сечению на расстояние атомного сцепления. Зона , в которой устанавливается межатомная связь, называется зоной соединения, ширина ее десятки мкм.

Пластическая деформация осуществляется легче, если нагреть место соединения.

Сварка давлением не изменяет химический состав металла, а структуру меняет лишь незначительно. В идеальном случае достигается полное тождество металла в зоне сварки и вне ее и неразличимость зоны сварки рпи металлографическом обследовании.

Используемые источники тепла (превращают в тепловую различные виды энергии):

- электрические (дуговая, плазменная сварка, контактная, электронный луч, индукционные токи)
- химические (холодная сварка)
- электро-магнитные (световая, лазерная)
- механические (используют трение)

Требования к источникам тепла:

- достаточная тепловая мощность (количество тепла в единицу времени)
- высокая концентрация тепла
- значительная
- экономичность
- удобство в работе

Электродуговая сварка

Это основной способ сварки металлов.

Источник тепла – электродуга, которая создается прохождением тока через газ.

Дуга – мощный стабильный разряд электричества в ионизованной атмосфере газов и паров металла.

Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения.

Процесс зажигания дуги:

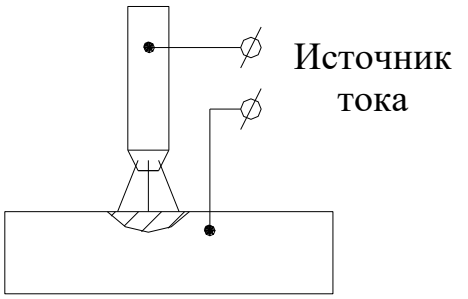
1. Короткое замыкание электрода на заготовку
2. Отвод электрода на 3 – 6 мм (начинается термоэлектронная эмиссия е)
3. Возникновение устойчивого дугового разряда.

В дуговом разряде основную роль в ионизации играют соударения электронов.

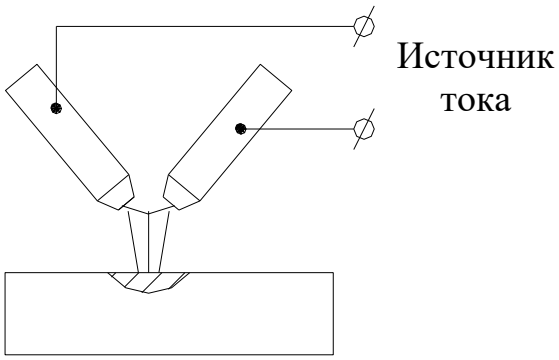
Дуговой разряд устойчив в широких пределах изменения тока. В сварочных дугах применяются токи 1 – 5000 А. Питаться дуги могут постоянными и пременными токами.

По способу воздействия на обрабатываемый металл различают:

- прямое воздействие дуги
- косвенное воздействие дуги



Прямое действие дуги



Косвенное действие дуги

Электроды для дуги прямого действия могут быть:

- плавящиеся
- неплавящиеся

Плавящийся электрод расплавляется дугой, его металл переходит в сварочную ванну и идет на образование сварного шва.

Св–08 низкоуглеродистая сталь (Св– сварочная проволока, 0,8– сотые доли %)

Св–0,8Г2С легированная сталь

Св–18ХГС

Неплавящийся электрод (уголь или графит) в образовании шва не участвует (вольфрам).

В дуге прямого действия металл подвергается бомбардировке заряженными частицами и передача тепла идет интенсивно.

При косвенном действии дуги основной металл не является электродом. Металл нагревается хвостом ее пламени. Нагрев менее интенсивен и мало отличается от нагрева газовым пламенем.

Дугой косвенного действия можно сварить неэлектропроводные мктериалы, например стекло, керамику.

Зажигают дугу:

1. Контактным способом (замыкают и размыкают дуговой промежуток).
2. Наложением на дуговой промежуток вспомогательного тока с $f \geq 20$ кГц и напряжением несколько кВ. Происходит пробой, искровой разряд ионизирует газ и переходит в дуговой.

Температура дуги 5000 – 30 000 К.

При горении дуги и плавлении металла требуется защита сварочной ванны от действия газов воздуха : O_2, H_2, N_2.

Способы защиты:

1. Покрытый электрод – металлический стержень покрывается порошкообразным материалом на клеящем растворе. При плавлении покрытия образуется шлак и газы.

   Покрытия:

   кислые (АНО–2, СМ–5 и др.) – окислы Fe, Mn, кремний, ферромарганец

   рутиловые (АНО–3, ОЗС–3, ОЗС–4, МР–4 и др.) – рутил (TiO_2), тальк, мрамор.

   целлюлозные (ВСЦ–1, ВСЦ–2, и др.) – целлюлоза, от. смола, тальк и др.

   основные (УОНИИ 13/45, УП1/45) – мрамор, плавиковый шпат, ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, жидкое стекло.

2. Сварка под флюсом – дуга горит под порошкообразным флюсом, слой которого полностью покрывает дугу и зону сварки (толщина слоя 30 –35 мм). Сварка автоматическая и полуавтоматическая.
3. Порошковая проволока – свернутая из тонкой стальной ленты оболочка, ∅ 1,6–3,3 мм, внутри которой запрессован порошок из смеси веществ, играющих ту же роль , что и электродное покрытие или флюс. Сварка осуществляется полуавтоматически.
4. Сварка в защитном газе – проводят с подачей в зону дуги через электрододержатель струи защитного газа (аргон, гелий, CO_2, смесь газов). Сварка выполняется плавящимися или неплавящимися электродами и может быть ручной, полуавтоматической и

автоматической. Используется для сварки легированных сталей и химически активных металлов (алюминий, тантал и др.).

5. Самозащитная проволока – голая проволока сплошного сеченния, содержащая легирующие элементы церий и цирконий, обеспечивающих высокое качество шва. Исследования проводит институт имени Патона. Применяется при сварке арматурной стали.

Режим сварки.

Диаметр электрода.
Сила сварного тока.
Напряжение на дуги.
Скорость сварки.

Дополнительные показатели:
Род и полярность тока.
Тип и марка покрытия.
Температура предварительного подогрева.
Угол наклона электрода.

Выбор режима часто сводится к определению диаметра электрода и силы сварного тока.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, например при сварке встык диаметр электрода равен толщине листа. Силу сварного тока выбирают в зависимости от диаметра электрода:

$I=kd$,

где $k=35–60$ А/мм
d=диаметру электрода в мм.

На величину коэффициента k влияет состав электродного покрытия.

Оборудование для электродуговой сварки:

- сварочные трансформаторы
- сварочные преобразователи (генератор постоянного ока и электродвигатель)
- сварочные выпрямители (трансформатор и выпрямитель).

Электродуговая сварка обеспечивает хорошее качество сварного шва, но обладает более низкой производительностью. Производительность процесса в основном определяется сварочным током. Ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока сверх рекомендованного значения приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла.

Ручная сварка постепенно заменяется полуавтоматической в атмосфере защитных газов.

Для сварки под флюсом используется непокрытый электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварной ванны от воздуха. Слой флюса толщиной 30–35 мм.

Плазменная сварка

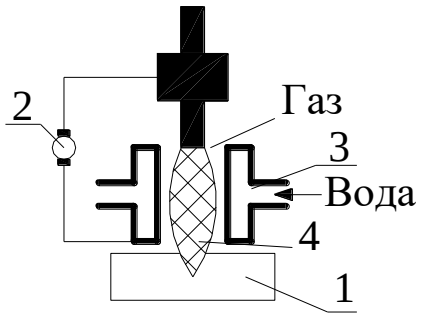
Столб сварной дуги заполнен ионизированным газом-плазмой. В обычной сварной дуге длина столба составляет несколько мм, роль столба второстепенна, его мощность невелика, а основную роль играют приэлектродные области. При помощи магнитных полей, продувания струи газа и пропускания через обжимающее сопло можно удлинить столб дуги до десятков, сотен мм, одновременно уменьшить его диаметр и получить длинную струю плазмы. При этом основную мощность несет струя плазмы, роль приэлектродных областей снижается. Плазменная струя превращается в концентрированный источник тепла. В последние годы успешно развивается плазменная сварка и резка.

В настоящее время тепловая мощность 8000 – 10 000 кал/сек и принципиально может быть сделана как угодно большой, η=0,3–0,4.

Тепловая концентрация в несколько раз выше, чем в обычных дугах. При получении дуговой плазмы используется Ar, He, N_2, H_2 и другие газы и смеси.

В настоящее время исследуется особые плазменные струи и выясняется возможность использования их в различных областях техники.

Сварка металлов, неметаллов, их сочетаний. Сварка деталей от 10 мкм до 1 мм (малые толщины).



1 – материал
2 – источник питания
3 – плазмотрон
4 – плазменная сварка

Газ, сжимающий столб дуги, называется плазмообразующим. В качестве плазмообразующего газа применяется Ar, N_2, H_2, а также смеси нескольких газов.

Сжатая дуга может быть аналогична сварной дуге прямого и косвенного действия. В первом случае одним из электродов служит обрабатываемый металл.

В комплект оборудования для плазменной сварки входит плазматрон, пульт управления, источник питания дуги электротоком, баллоны с плазмообразующим газом и механизм для перемещения плазматрона вдоль линии сварки.

Индукционная сварка

Индукционный нагрев находит широкое и все возрастающее применение. Его производят вихревыми токами (токами Фуко), возникающими в металле, внесенном в переменное магнитное поле, которое создается обмоткой, питаемой переменным током. В этом случае обмотка, создающее поле, или индуктор, может рассматриваться как первичная обмотка трансформатора, а нагреваемый металл – вторичная обмотка, замкнутая накоротко.

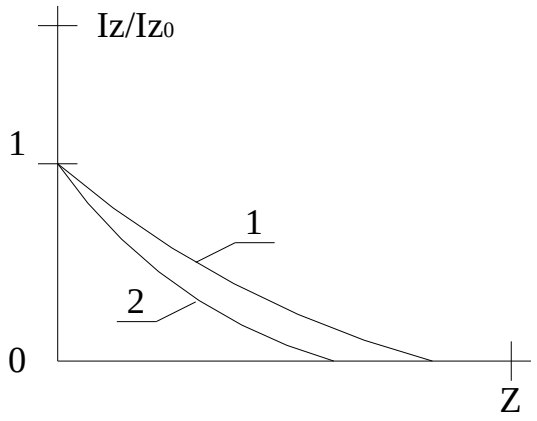
Таким образом для индукционного нагрева необходим источник переменного тока, соответствующей частоты и достаточной мощности – индуктор, размеры и форма которого определяются размерами, формой и свойствами металла нагреваемого изделия. Например, при f= 50 Гц труба толщиной 3 мм Vs=20 м/мин.

С повышением частоты передача тепла становится более интенсивной и при частотах 2000 – 3000 Гц уже можно плавить металл в электрических индукционных печах. Для сварки оптимальными оказываются более высокие частоты – от сотен тысяч до МГц.

Важное значение для индукционного нагрева имеет так называемый поверхностный эффект, суть которого состоит в том, что переменный ток распределяется по сечению проводника неравномерно. При этом плотность его там у поверхности проводника, где и выделяемая большая часть тепла. Степень неравномерности зависит от частоты тока и свойств материала проводника.

Тепло, выделяемое током ≡ квадрату действующего значения плотности тока на данном участке металла.

$Q \sim I^2$



1 – распределение тока
2 – распределение выделяемого током тепла

Неравномерность распределения тепловой мощности может быть оценена толщиной поверхностного слоя металла (глубиной прогрева), в котором выделяется ≈ 90% всего тепла. Приблизительная формула:

$$d = 5.3 \times 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \text{ см}$$

где ρ – удельное сопротивление, Ом × см

μ – магнитная проницаемость

f – частота тока, Гц

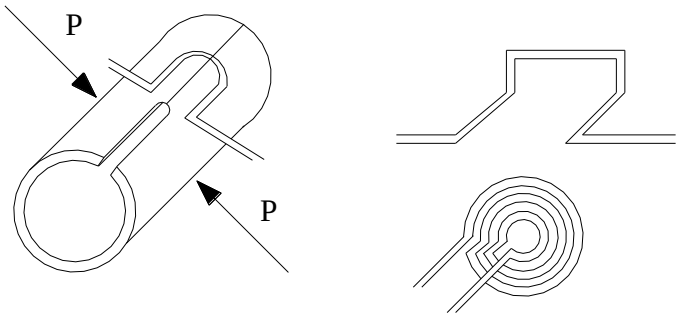
Более точные значения толщины подслоя определяются опытным путем. Например для Cu

Частота тока, Гц	Толщина прогревочного слоя, мм
10^8	0,007
10^6	0,067
10^5	0,21
10^4	0,67
2×10^3	1,5
$0{,}5 \times 10^2$	9,5

Из таблицы следует, что на высоких частотах индуктивный нагрев из объемного практически превращается в поверхностный. Токи в поверхностных, очень небольших объемах металла быстро нагревают их до температуры пластичного состояния и до расплавления.

Индукционный нагрев используется для сварки, пайки тонкостенных труб, подогрева изделий перед сваркой и т. д.

Типы индукторов.



Достоинства:

- однородность химического состава
- экологическая чистота – без флюсов, световых или иных излучений
- экономическая эффективность – высокий КПД, так как нагрев локальный
- технологичность – автоматическое регулирование и управление

Электронно-лучевая сварка

Электронный луч получается в вакуумном приборе – электронной пушке. В вакууме с раскаленного катода выделяются электроны, которые направляются к аноду – свариваемой детали.

Электроны ускоряется электрическим полем, фокусируются магнитным. Сфокусированные в плотный пучок электроны, ударяясь о малую площадку на свариваемом изделии вследствие резкого торможения, отдают свою энергию металлу, который нагревается до очень высокой температуры.

Плотность электрической энергии в луче можно регулировать изменением напряженности магнитного поля фокусирующей линзы, что дает возможность регулировать температуру нагрева материала.

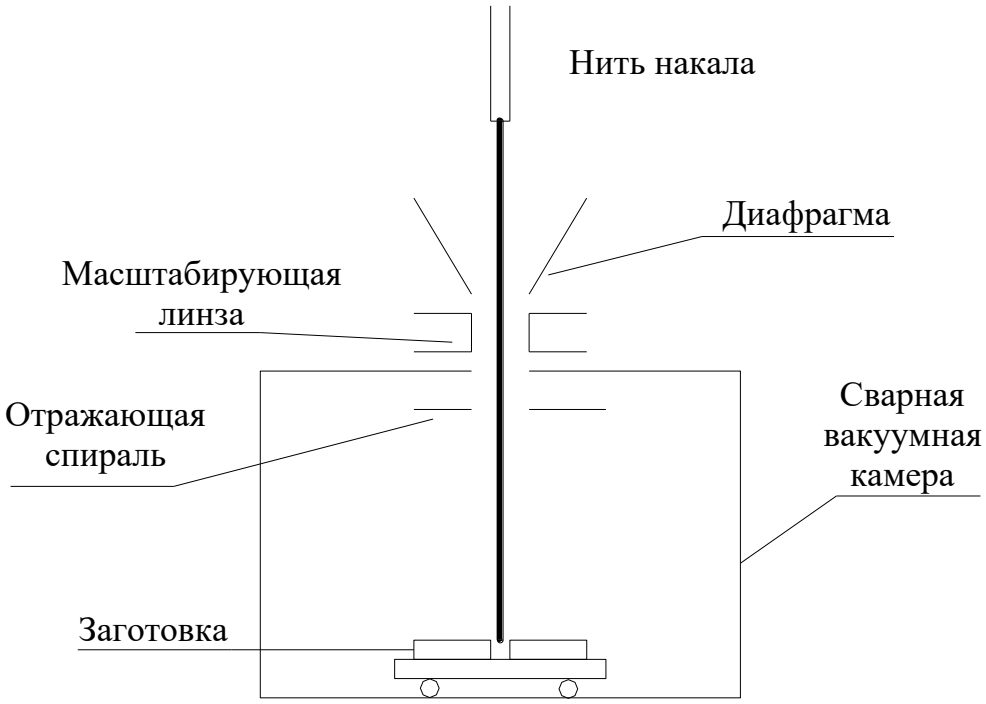
Высокая концентрация энергии позволяет сваривать металл большой толщины при малом расстоянии между ними.

Удельная тепловая мощность электронного луча в тысячи раз больше, чем удельная мощность элекродуги.

Глубокое проплавление при очень малой ширине шва.

Применение: от нескольких мкм до 200 – 300 мм за один проход, большие толщины.

Лучшая в космических условиях + лазерная.



Газовая сварка

При химических реакциях обычно выделяется или поглощается некоторое количество тепла

$A+B \leftrightarrow C+Д \pm Q$

Реакции, протекающие с выделением тепла называются экзотермическими, а с поглощением – эндотермические.

В качестве источника тепла для сварки можно использовать только такие экзотермические процессы, которые позволяют получить достаточную тепловую мощность и создавать высокую концентрацию тепла в малых объемах. Чаще всего в сварочных процессах для получения тепла используются реакции сгорания углеводородов, окисления металлов между оксидами малоактивных металлов и активными металлами.

Характеристики горючих для газовой сварки, резки, пайки.

Горючее	Низшая теплотворная способность ккал/м^3	Температура пламени в смеси с кислородом, °С
Ацетилен	12 600	3150
Водород	2400	2100
Коксовый газ	3500 – 4200	2000
Природный газ	7500 – 7900	2000
Нефтяной газ	9800 – 13 500	2300
Бензин	10 200 – 10 600	2500 – 2600
Керосин	10 000 – 10 200	2450 – 2500

Теплотворная способность – количество тепла в ккал, выделяющееся при полном сгорании 1 м^3 или 1 кг горючего.

Наибольшей теплотворной способностью обладает ацетилен, поэтому его обычно применяют при газовой сварке.

Газовая сварка у нас в стране применяется с 1906 года. До 1960 года для сварки металлов использовалось лишь ацетилено-кислородное пламя. Позднее, когда ацетилен стал дефицитным газом (его стали применять для получения резины и пластмассы) его стали заменять. Чаще всего использовалась пропан-бутановая смесь или пары горючих жидкостей (керосина и бензина). Любое газовое пламя обладает малой концентрацией тепла по сравнению с элекродугой, поэтому шов обладает низкой прочностью.

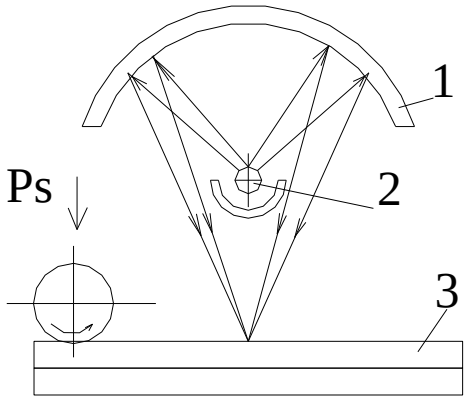
Производительность газовой сварки во многих случаях уступает дуговой, поэтому газовая сварка вытесняется электрической (контактной, дуговой и др.).

Применение: при ремонте литых изделий из чугуна и цветных металлов, исправление дефектов литья; сварка легкоплаких металлов.

По производительности, прочности, пластичности и вязкости металла шва и сварного соединения газовая сварка уступает дуговой и вытесняется электросваркой.

Световая сварка

Излучение, испускаемое источником (галогенокварцевые или ртутнопаровые лампы высокого давления), при попадании на свариваемые материалы адсорбируется и перехолит в тепло. Фокусировка излучения в точечный луч происходит посредством поворотного эллиптического зеркала, в фокусе которго расположен излучатель и соответственно соединяемые металлы.



1 – рефлектор
2 – излучатель
3 – материал

Для получения излучения в виде полосы используется цилиндрическое эллиптическое зеркало.

Световая сварка – универсальный процесс. Можно сваривать образцы из любых материалов (сталь, молибден, керамика, пластмассы и др.). сваркой легко управлять, изменяя мощность, подводимую к лампе. При этом изменяется яркость свечения, ∅ пучка света.

Применение: S=0,2 – 20 мм, фольга, гидроизоляционные материалы, панели, профили, фасонные детали (из пластмассы).

Достоинства:

- высокий КПД до 45 % (но меньше в несколько раз по сравнению с лазерной)
- подведение тепла бесконтактным способом
- возможность регулировки и управления подводом тепла
- универсальность (сварка, резка, пайка)
- экологическая чистота
- ∅ пятна 1 – 9 мм.

Мощность аппаратуры 1 – 10 кВт.

Лазерная сварка

В последнее время для ряда технологических целей (получение отверстий, удаление небольшого количества металла, локализованная термическая обработка и др.) стали применять мощные пучки фотонов, создаваемые оптическими квантовыми генераторами или лазерами. Эти лазеры относятся к классу твердотельных ОКГ. Рабочее тело ОКГ – рубиновый кристалл в виде стержня. Источник питания обеспечивает необходимую энергию для системы подкачки (газоразрядной лампы), дающей мощный световой импульс. При концентрации света подкачки в рабочем поле ОКГ происходит возбуждение активных атомов, приводящее к генерации монохроматического когерентного пучка света. Излучаемая световая энергия с помощью оптической системы концентрируется на обрабатываемой детали, закрепленной на специальной стойке. Луч лазера может быть сфокусирован в точку с ∅ 10 – 100 мкм. Большие плотности энергии, создаваемые при фокусировании электромагнитного излучения ОКГ, позволяет расплавлять небольшие объемы материала, создавая предпосылки использования лазеров при сварке. Такие сварочные аппараты используются в настоящее время при точечной сварке.

В производстве РЭА лазерная сварка применяется для приваривания выводов к тонкопленочным схемам, а также к полупроводниковым устройствам. Так как длительность процесса мала, при сварке не повреждаются теплочувствительные приборы и не растрескиваются подложки.

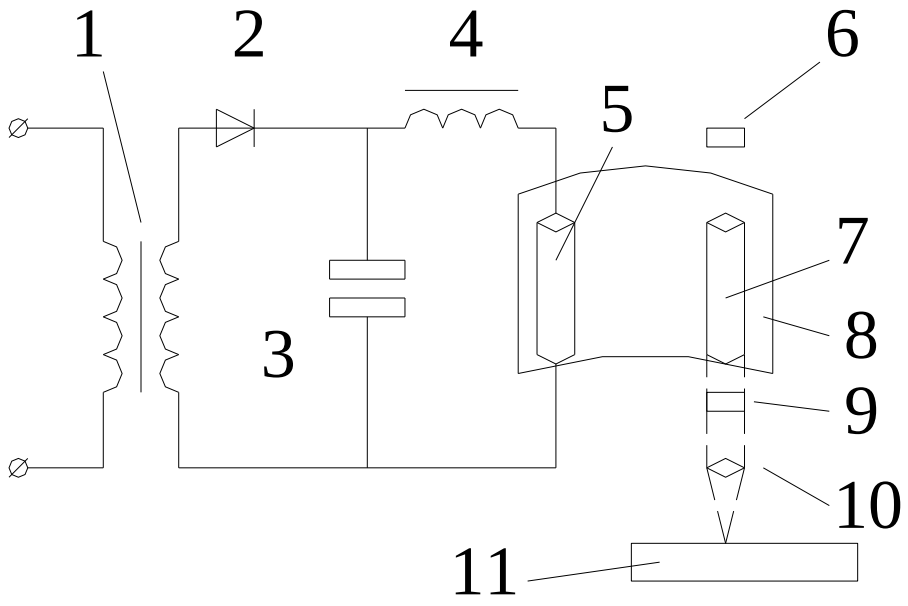
Луч лазера может быть применен для удаления небольших объемов металла испарением, например для точной подгонки металлопленочных сопротивлений высокого класса точности.

Так как мощность непрерывного излучения лазера невелика, то они применяются для сварки тонких деталей.

В настоящее время используются лазеры 4 типов:

- твердотельный
- жидкий
- газовый
- полупроводниковый

Принципиальная схема лазера с твердотельным активным элементом.


1
2
4
6
5
7
8
3
9
10
11

1 – трансформатор
2 – выпрямитель
3 – батарея конденсаторов
4 – дроссель, через который происходит разрядка батареи конденсаторов
5 – лампа накачки
6,9 – зеркала, отражающие световое излучение активного элемента обратно к нему
7 – активный элемент, преобразующий подводимую энергию в световое излучение с определенной длиной волны (монохроматическое излучение), испускаемое с обоих концов
8 – рефлектор
10 – оптическая система, придающая направленный характер лучу и фокусирующая луч
11 – материал

Свет многократно пронизывает активный элемент 7, усиливаясь при этом.
Используется в медицине.

Основной принцип работы лазеров одинаков.

1, 2, 3 или более источников света высокой интенсивности, смонтированных внутри камеры с рубиновым стержнем (розовый рубин, например, окись Al и примесь Cr до 0,05%).

На конце стержня – параллельные зеркала (первое – 100% отражающая способность, второе – меньше 100% с отверстием для выхода луча).

Источник света испускает белый свет высокой интенсивности. Стержень его поглощает. Пульсирующий свет «нагнетает» энергию в стержень до тех пор, пока не наступит максимальное насыщение стержня.

Следующий этап – разгрузка – испускание с рубинового стержня короткого импульса в виде красного света через отверстие в частично отражающем зеркале.

После каждого испускания энергия стержня падает. Цикл повторяется вновь. Длительность цикла – микросекунды.

Излучение усиливается, если выходной луч совпадает с падающей волной белого света. (усиление света с помощью вынужденного излучения и называют «лазером».).

Применение: сварку используют в атмосфере, вакууме, защитном газе, для сварки редких и драгоценных металлов.

Лазерная резка, причем и неметаллических материалов (дерево, керамика, стекло и др.).

Толщина разрезаемых металлов:
стали – до 10 мм
никелевые сплавы – до 5 мм.

Контактная сварка

Контактная сварка – сварка с применением давления, при котором нагрев производится теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые детали.

Нагрев проводится током, обусловленным столкновением движущихся направленно валентных электронов с ионами и увеличением амплитуды колебаний последних от передаваемой электронами энергии.

Нагрев за счет сопротивления происходит по закону Джоуля-Ленца:

$Q=kI^2Rt$,

где Q – тепло, выделенное при прохождении электрического тока через твердый или жидкий проводник
I – величина электрического тока
R – сопротивление проводника
t – время прохождения тока
k – коэффициент пропорциональности

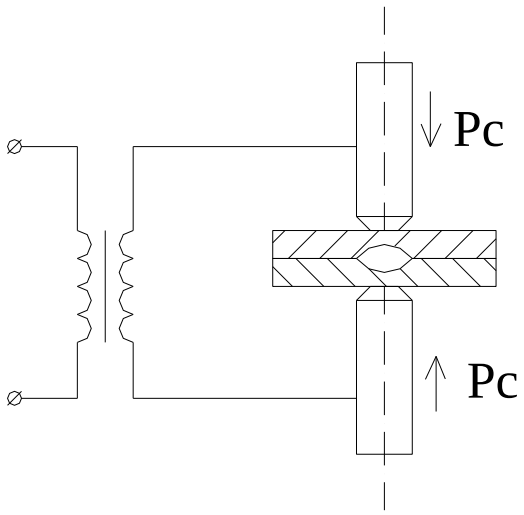
$$R = m\frac{\rho \cdot l}{S}$$

ρ – удельное сопротивление
l – длина проводника
S – сечение проводника
$m \le 1$ – коэффициент поверхностного эффекта, обусловленный неравномерным распределением тока по проводнику.

По форме сварного соединения контактная сварка может быть:

- точечная
- шовная
- стыковая
- рельефная
- шовно-стыковая

Схема точечной сварки



При точечной сварке общее сопротивление между электродами составит:

$R_{ээ}=2R_д+R_k+2R_{эд}$

где $R_{ээ}$ – сопротивление между электродами
$R_д$ – сопротивление детали
R_k – контактное сопротивление
$R_{эд}$ – переходное сопротивление между электродами и деталями.

Сопротивление R_k по мере нагрева и деформации деталей уменьшается, а $R_д$ – растет. Начальный нагрев контакта усиливается с уменьшением усилия сжатия Pc, но при этом за счет роста $R_{эд}$ возможен перегрев электродов.

Сварочный ток при контактной сварке определяется по формуле:

$$I_c = \frac{E}{\sqrt{(\Sigma R)^2 + X^2}},$$

где E – ЭДС источника
R – активное сопротивление сварочного контакта
X – индуктивное сопротивление сварочного контура и детали.

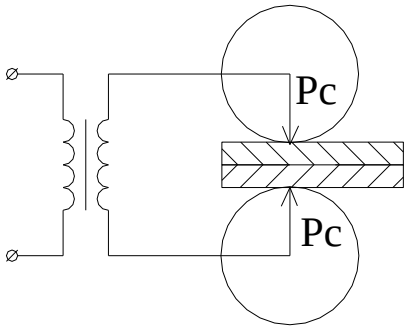
При прохождении электрического тока в месте контакта образуется расплавленное ядро заданных размеров (∅ ядра определяет усилие отрыва). Образующийся в точке расплав с температурой (1,1 – 1,15) $T_{пл}$ при j = 70–80 А/мм^2 (плотность тока для стали) перемещается электромагнитными силами, создаваемыми сварочным током, и граница раздела между деталями исчезает. Пластическая деформация от Pc в результате увеличения объема расплава сопровождается течением металла в зазор между деталями. Ядро кристаллизуется в момент резкого спада тока. Большие скорости охлаждения до 10 000 с/сек из-за теплоотвода в холодные слои металла и электроды тормозят объемную диффузию и создают условия для образования особых структур с

неравномерным химическим составом металла. Образуются вытянутые кристаллы (дендриты), которые растут в направлении максимального теплоотвода. Структуру металла соединения и его свойства регулируют скоростями нагрева и охлаждения, а также скоростью и степенью пластической деформации.

Ориентировочная разрушающая нагрузка для точечных соединений из разных материалов толщиной δ, мм

Толщина материала δ, мм	Разрушающая нагрузка, кгс	
	Сталь 10	АНГ
0,5+0,5	160	50
1,0+1,0	400	140
2,0+2,0	1100	380
3,0+3,0	1800	600
4,0+4,0	2700	850

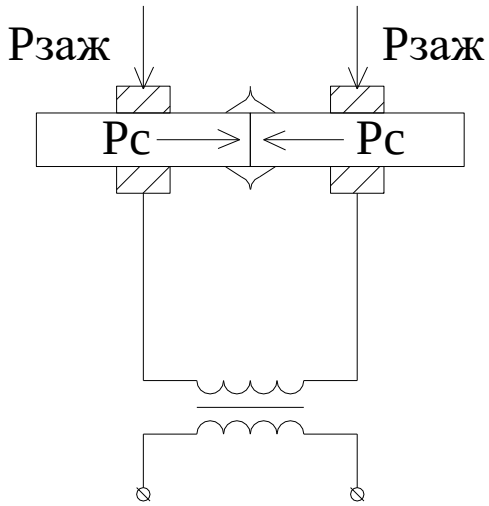
Шовная контактная сварка.



Соединение деталей внахлестку состоит из ряда точек, образующих сварной шов, а электроды 1 и 2 в виде уголков перемещают детали или катятся по ним.

Если расстояние между точками за счет удлинения пауз между импульсами тока увеличить, то вращающиеся детали могут получить производительную сварку.

Стыковая контактная сварка.



Сварка, при которой соединение деталей происходит по поверхности стыкуемых торцов. Зажатые электродами с усилением Рзаж детали соединяются по всей поверхности их контакта при осадке с усилием Рс после местного нагрева соединяемых концов Рзаж>>Рс. После сварки деталь имеет в стыке галт , который удаляется механической обработкой.

Рельефная сварка – вид контактной сварки, при которой соединение деталей происходит на отдельных участках по заранее подготовленным выступам.

Оборудование: контактные машины.

По назначению их делят на:

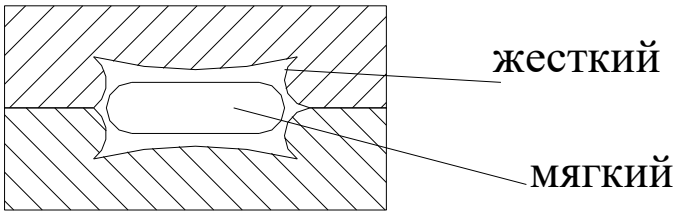
- точечные
- рельефные
- стыковые
- шовные и т. п.

Каждый тип машин имеет свои электроды.

Формирование ядра в большей мере зависит от сопротивления , на котором в начальной стадии выделяется до 80% тепла. При медленном нагреве резок уменьшается, что понижает тепловыделение в контакте и усиливает тепловыделение в соседних участках. У деталей равной толщины такое перераспределение тепла обеспечивает практически одинаковое ядро как при мягком, так и при жестком режиме.

Жесткий режим – длительность тока меньше 0,1 с для деталей толщиной δ=1–4 мм, большее Iс, Рс следовательно, большой градиент температуры, зависящий от распределения плотности тока j.

Мягкий режим – большие длительности протекания тока, следовательно, плотность j равномерна, ядро имеет форму эллипса.



Диаметр вмятины dв ~ диаметру ядра dя.

dв=Кda

К = 1,2–1,4 легкие сплавы
1,1–1,3 низкоуглеродистые стали
1,1 жаропрочные сплавы.

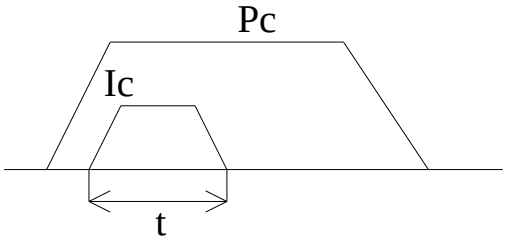
Жесткие режимы высокопроизводительны, уменьшают деформацию деталей, требуют меньшего расхода энергии, но нужно более тщательно подгонять детали.

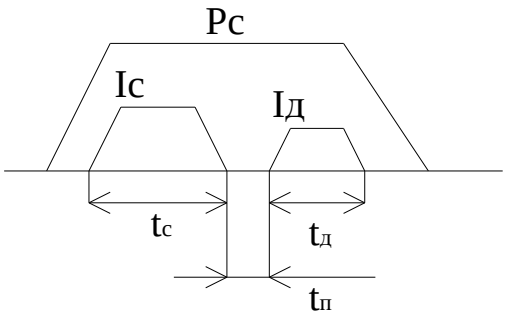
Параметры режима выбирают с учетом имеющегося оборудования по таблицам ориентировочных режимов, номограммам или производят опытные работы

Режим задается:

Iс,
tс,
Рс

Совмещенные программы и именуются циклами сварки.





Для уменьшения внутренних напряжений проводят электротермообработку. Цикл сварки с термообработкой характеризуется

паузой tп (закалка), временем приложения ковочного усилия Рк и током термообработки Iт и ее длительностью.

Приближенные формулы для расчета ориентировочных параметров и режима точечной сварки.

	Dэл, мм	Is, mA	I, $\frac{время}{период}$	Усилие	
				Fc	Fт
Сталь низкоуглеродистая	5–5,5 S	9.5 S	8 S		200 S

S – толщина свариваемых металлов.

При выборе материала электродов учитывается стойкость при высоких температурах, электропроводность и др. для электродов используют медные сплавы с кадмием, магнием и с добавками бора или серебра. Также могут быть добавки молибдена и вольфрама.

Сварка давлением

Холодная сварка

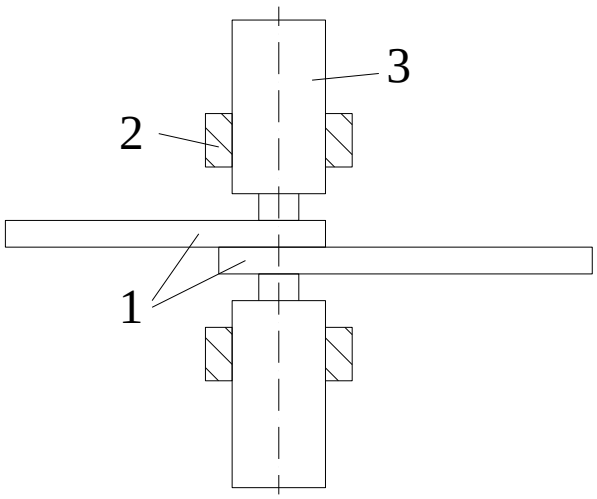
Разновидность сварки давлением, когда сварное соединение образуется при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых деталей.

Основа холодной сварки – пластичность (или способность к деформации без разрушения). Свариваемость, как и пластичность, зависит от строения металла. Хорошо свариваются металлы с гранецентрированной решеткой (Al, Cu, Ag, Au, Pt, Ni, Pb), труднее – металлы с кубической решеткой (Fe, Cr, W, Nb, Mo) и еще труднее – с гексагональной решеткой (Zn, Cd, Be, Mg).

Холодная сварка может быть:

- точечной
- шовной
- стыковой.

Перед сваркой поверхности деталей подготавливают: очищают от окислов и жира. Давление для Al составляет 25 кгс/мм^2, Cu 35 – 80 кгс/мм^2.



1 – свариваемые детали
2 – прижим
3 – пуансоны

$$P = \sigma_T (1{,}5 + 0{,}5S / h_{ост})$$

σ_T – предел текучести
S – толщина рабочей части пуансона
$h_{ост}$ – остаточная толщина металла.

Метод используется для соединения внахлестку тонких (до 1 мм) материалов: изготовление контактов на пластинах, медных контактов на алюминиевых шинах, кабельных наконечников и т. д.)

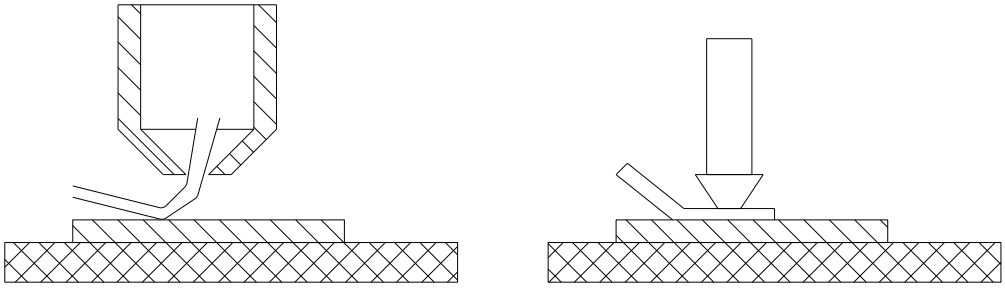
При стыковой сварке $P_c \le 4\sigma_T$.

Термокомпрессионная сварка

Производится при невысоких давлениях с подогревом соединяемых деталей.

По способу соединения термокомпрессия выполняется внахлестку и встык. Тип образующегося соединения определяется формой инструмента.

Основные формы инструмента:



капилляр клин

Основные параметры режима термокомпрессиии:

- усилие сжатия P
- температура нагрева инструмента T
- длительность выдержки под давлением t.

Усилие сжатия P определяется допустимой деформацией присоединяемого проводника или максимально допустимым давлением на присоединяемую деталь. При P=40 – 100 МПа допустимая деформация составляет:

для золотого провода – 50-70%

для алюминиевого – 60-80%

Температура T не должна превышать температуру образования эвтектики соединяемых материалов и для разных материалов составляет 250 – 450 ºC.

Время t зависит от сочетания соединяемых материалов и устанавливается экспериментально путем оценки прочности соединений, t=1–10 с.

Инструмент изготавливается из твердых сплавов (карбиды вольфрама, титана и керамики, оксид бериллия, алюмокерамика).

Сварка применяется для присоединения выводов к полупроводниковым кристаллам, сварки микропроводов и проволок между собой, приварки жил плоского кабеля к выводам соединителя и др.).

Достоинства:

- малая чувствительность к изменениям режима
- стабильность сварного инструмента
- простота контроля основных параметров процесса.

Недостатки:

- ограниченное число сочетаний свариваемых материалов (пластичные)
- тщательная подготовка поверхности

Диффузионная сварка

Разновидность сварки давлением, осуществляемая за счет взаимной диффузии атомов контактируемых деталей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

Вакуум 10^{-3}–10^{-5} мм.рт.ст. (до 10^{-7}–10^{-8})

$T = (0{,}5–0{,}9)T_{пл}$

P = 5–20 МПа

t = 5–20 мин.

Увеличение t уменьшает P.

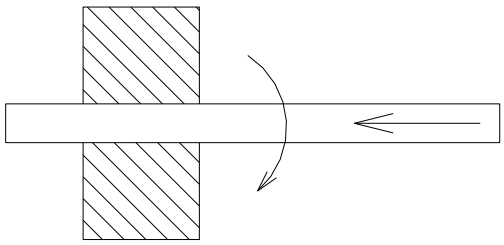
Сварку осуществляют в вакууме 10^{-3}–10^{-5} мм.рт.ст, инертных газах или при ограниченном доступе воздуха к соединяемым поверхностям. Применяют для получения деталей с высокоточными размерами, для соединения материалов, не поддающихся сварке плавлением, для изделий, работающих в сложных условиях.

Сварка трением

Разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызываемым вращением или смещением деталей.

Вращают одну или обе детали.

Поверхность трения может быть плоской, конической, цилиндрической или более сложной формы.



После достижения температуры сварки трение резко прекращается, а осевое усилие возрастает.

Детали сжимаются с постоянным возрастающим или сжимающимися давлениями (см. Кабанов. Сварка на контактных машинах).

Преимущества:

- высокое и стабильное качество соединения
- малая подводимая мощность
- высокая производительность

Применяется для сварки труб, стержней, режущего инструмента.

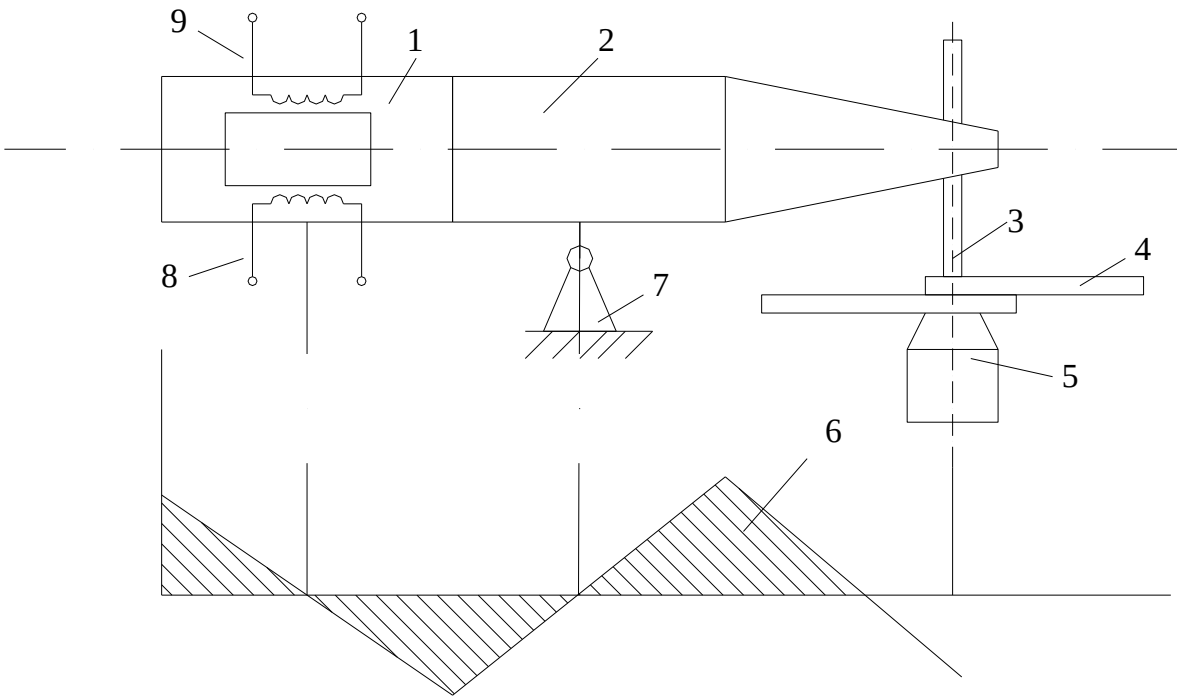
Ультразвуковая сварка

Известна с 1955 года. Соединение происходит без подвода тепла. В зоне сварки действуют поперечные ультразвуковые колебания, под влиянием которых свариваемые поверхности перемещаются, возникают силы трения и достаточно небольшого давления, чтобы кристаллы решетки срастились друг с другом.

Процесс ультразвуковой сварки делится на 4 стадии.

1. Разрушение окисных и адсорбированных пленок и рост фактической площади касания сопрягаемых плоскостей.
2. Пластическое деформирование микровыступов в местах фактического контакта и образование устойчивых контактных пятен.
3. Рост и слияние контактных пятен.
4. Формирование структуры общих решеток и границ зерен вдоль плоскостей раздела поверхностей.

Основа оборудования – ультразвуковая колебательная система.



1. Преобразователь – возбуждает упругие колебания в системе (магнитострикционные или пьезокерамические).
2. Волновод (коцентратор) – передает колебания и трансформирует амплитуду колебаний (Кд=2-3). Форма волновода – цилиндрическая экспоненциальная, коническая и т. д. Материал – хромистая сталь, титановые сплавы.
3. Инструмент. Конструкция, размеры и место крепления к концентратору определяет схема ввода УЗ в зону сварки. Инструмент является

поперечным волноводом. Конструкция – стержень с конической частью из металлокерамического сплава ОК 6М или ТК. Такая система обеспечивает передачу свариваемым деталям сдвигающих усилий параллельно плоскости контакта.

4. Свариваемые материалы.
5. УЗ опора-отражатель.
6. Эпюра смещений (амплитуд) вдоль колебательной системы.
7. Акустическая развязка обеспечивает акустическую изоляцию колебательной системы от элементов конструкции сварочных установок. Располагается в узловых плоскостях волноводной системы, а также с помощью ¼ волновых изоляторов (стакан или стержень с длиной в ¼ длины волны), ½ волновых акустических развязок.

8,9 Обмотки. Uвозб, приложенное к преобразователю, создает в обмотке намагничивающий ток, который возбуждает переменную индукцию, следовательно, возникают силы магнитострикции, вызывающие изменение размеров Uподмаг – для увеличения эффекта магнитострикции.

Основные параметры сварки.

- мощность ультразвукового преобразования
- амплитуда колебаний инструмента
- усилие сжатия
- время сварки
- частота колебаний инструмента.

Используется для сварки разнородных металлов, тугоплавких, алюминия, деталей с большой разницей по толщине, деталей с неметаллическим покрытием, для тонких материалов (Al – < 1.5 мм, Fe – < 1 мм).

Частота f= 22, 44, 66, 88 кГц

Температура нагрева t в зоне контакта 30–50% Тпл соединяемых материалов.

Давление 0,5–20 Н/мм2.

Диаметр инструмента dинстр=(3–4)dпр, dпр – ∅ привариваемого проводника.

Время сварки – экспериментально 0,1–3 с.

С увеличением давления Р – увеличивается трение, уменьшается амплитуда колебаний рабочего торца инструмента.

С уменьшением давления Р – замедляется пластическая деформация, уменьшается плотность дислокаций.

Инструмент изготавливается их карбида вольфрама (до 50 тысяч сварок).

Связь образуется между поверхностными зернами, но прочность на уровне основного материала.

Свариваемость материалов

Свариваемость – свойство материала в однородной или разнородной системе под воздействием активизирующей энергии обеспечивать надежное сварное соединение.

Свариваемость сталей зависит от химического состава, структуры, температуры и интервала плавления, склонности к поглощению газов. С увеличением степени легирования (особенно углеродом) растет их чувствительность к нагреву, увеличивается опасность возникновения трещин в шве.

Поэтому критерием свариваемости сталей является эквивалентное содержание углерода. Все остальные легирующие компоненты пересчитываются в это количество по формуле:

$$C_{экв} = C + \frac{Mn + Si}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}$$

В зависимости от эквивалентного содержания углерода различают группы сталей по свариваемости.

1. Хорошая свариваемость – стали низкоуглеродистые: 05, 08, 10, 15, стали низкоуглеродистые и среднеуглеродистые 15Х, 20Х. Сэкв до 0,25.
2. Свариваемость с предварительным подогревом сложных узлов до 200–300 °С, отпуск всех узлов после сварки – стали углеродистые: 25, 30, 35, 40 стали низкоуглеродистые и низколегированные: 14Г, 14ГС стали низколегированные и среднеуглеродистые: 25Г2С, 35ХМ, Сэкв=0,25–0,45.
3. Свариваемость после предварительной термообработки (закалка при 900 °С и отпуск при 500–600 °С) – стали среднеуглеродистые: 35Г, 40, 45 стали низколегированные и низкоуглеродистые: 18ГС2, 14ХГС, 10ХСНД Сэкв=0,35–0,5.
4. Сварка после предварительной термообработки: стали высокоуглеродистые: 50, 55, 60, 70, 80 стали низколегированные и среднеуглеродистые: 35ХМ стали среднеуглеродистые: 30ХГСА, 12Х5МА Сэкв свыше 0,5.

Свариваемость Al и его сплавов определяется их высокими теплопроводностью, термическим расширением, сродством к кислороду, тугоплавкостью оксидной пленки и фазовыми превращениями при сварке, приводящими к охрупчиванию при 350–400 °С. травление деталей перед сваркой и защита жидкой ванны от контакта с атмосферой обеспечивает отсутствие пор при сварке алюминия и литейных сплавов. Массивные детали перед сваркой подогревают до 200–400 °С.

Свариваемость Cu определяется ее повышенной жидкотекучестью, теплопроводностью и химической активностью, наличием примесей Pb, O, S, Bi, которые не растворяются в ней. Нагревание меди свыше 400 °C приводит к интенсивному окислению металла и его примесей, расплавленный металл хорошо поглощает газы, особенно H с образованием паров воды. Пары воды при нагревании создают большое давление, под действием которого образуется сеть микротрещин и пор. Поэтому для сварки используют раскисленую медь, в которой нет кислорода.

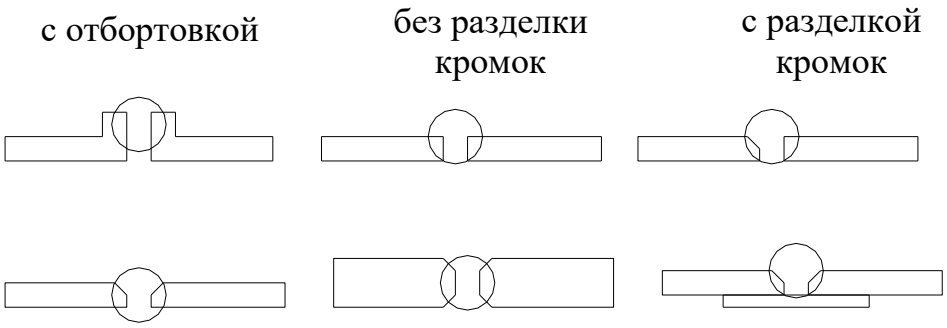
Используется дуговая и контактная сварка.

Свариваемость разнородных материалов определяется их диаграммой состояния, ТКР, упругостью паров, температурой плавления и т. п. Наилучшей свариваемостью обладают металлы с полной взаимной растворяемостью. Для преодоления трудностей, возникающих при сварке между ними, применяются биметаллические переходники, компенсирующие или барьерные прокладки.

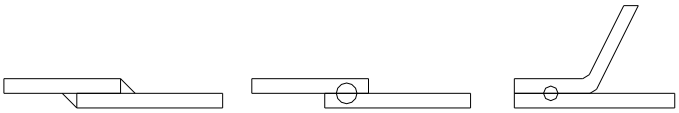
Технологичность сварных конструкций

Основные типы швов сварных соединений:

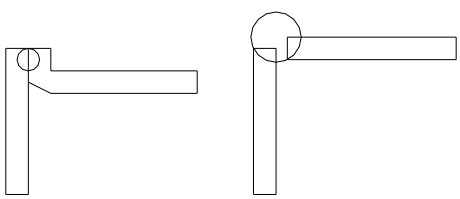
1. Стыковые



2. Нахлесточные



3. Угловые



4. Тавровые

Основные требования к конструкции

1. Расположение деталей должно обеспечивать свободный доступ инструмента в зону соединения.
2. Швы рекомендуется располагать таким образом, чтобы процесс сварки был выполнен в одном положении.
3. Стыки всех элементов желательно располагать в одной плоскости, избегая прохождения нескольких швов через одну точку.
4. Нецелесообразно располагать окна, ответственно близко от швов.
5. Расстояние между параллельными швами должно быть в 4–5 раз больше толщины деталей, но не менее 10 мм.
6. Соединения нахлесточные и с накладками не рекомендуются для деталей толщиной свыше 10 мм. Длина нахлестки должна быть более 4-х толщин свариваемых материалов.
7. Сварные швы должны располагаться симметрично.
8. При больших разностях толщин материалов при сварке встык на более толстом листе делают скос.
9. При контактной сварке:
   - отношение толщин соединяемых деталей рекомендуется принимать не более 2:1, в исключительных случаях 3:1
   - минимальная толщина соединяемых деталей 0,1 мм
   - в соединении 2-х деталей должно быть не менее 2-х точек
   - диаметр сварной точки $d_T=2\delta$ – 3 мм, где δ – толщина боле тонкой из свариваемых заготовок
   - не рекомендуется число деталей в свариваемом пакете более 3.
   - шаг точек сварки и расстояние от края свариваемых материалов ограничивается
   - размеры элементов конструкции зависят от параллельности сварных машин

Для деталей с механически необработанными кромками допуск на размеры устанавливают не менее 16 кв, а при сварке деталей с механически обработанными кромками – 15–14 кв.

Пайка

В настоящее время пайка достигла наибольшего прогресса в самолето- и ракетостроении, атомной технике, радиоэлектронике.

Особенности пайки

С помощью пайки можно соединять:

-разнородные материалы (в том числе и плоховаримые);

-практически при любых температурах (медь соединяется пайкой при комнатной температуре галлиевыми припоями);

-соединения получаются без нарушения форм и размеров конструкции, обычно и без изменения структуры основного металла;

-высокопроизводительный процесс;

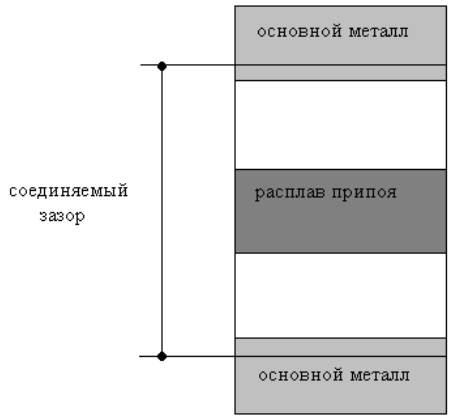
-в ряде случаев экономически более выгодна (простота ремонта).

Пайка-процесс соединения металлических деталей в твердом состоянии путем введения в зазор расплавленного припоя, взаимодействующего с основным металлом и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва.

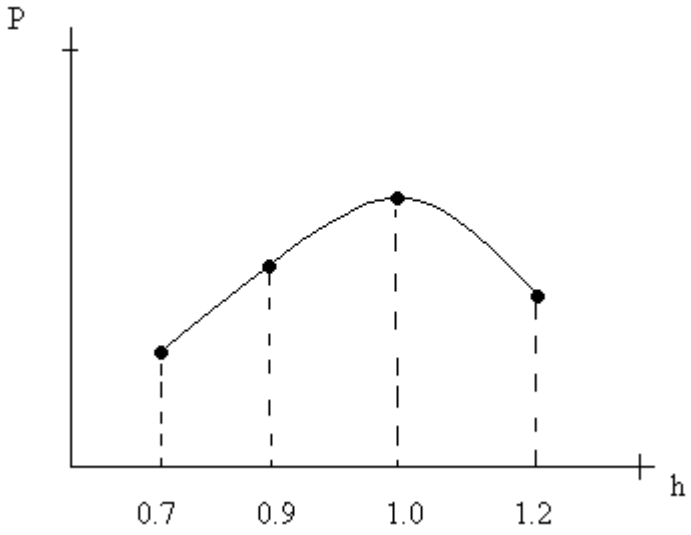
Основные признаки пайки:

а) пайка осуществляется при температуре ниже точек плавления металлов;
б) процесс пайки связан с введением в зазор между соединяемыми металлами металлической прослойки (расплавленный припой), которое осуществляется капиллярным течением расплава припоя в зазоре, введением припоя в зазор в виде фольги и др.способы (оплавление покрытия на границе с основным металлом);
в) соединение образуется в результате взаимодействия твердого основного металла с жидким припоем. Если условий для такого взаимодействия нет, то паяное соединение не образуется;
г) Кристаллизация кристаллической прослойки между соединяемыми поверхностями твердых металлов.

Физико-химические основы пайки



В исходный момент взаимодействия образование раствора основного металла в расплаве припоя наблюдается только в узких слоях, возле поверхности металла.
При $T_{пайки}$ образовывается раствор основного металла в припое во всем объеме жидкого металла, находящегося в зазоре (с образованием сплава).
Существует критическая диффузионная зона, т.к. диффузионные процессы увеличивают прочность, но возможна эрозия металла расплавленным припоем.



Рисунок…

где: h-ширина диффузионной зоны, мкм (h=0.9…1.2 мкм).

3 стадии при образовании спая:

1-ая стадия - физический контакт: контакт выражается в смачивании расплавом припоя основного металла;

2-ая стадия – развитие химического взаимодействия между основным металлом и расплавом припоя и образованием прочных связей. Фактически заканчивается образование спая, но на границе оси металл – зона сплавления протекают процессы релаксационного характера;

3-я стадия – кристаллизация, которая фиксирует процессы взаимодействия между основным металлом и расплавом припоя на том или ином уровнях развития.

Формирование шва при пайке определяется основными характеристиками совместимости паяемого металла и металла-припоя:

-растекаемость;

-смачиваемость;

-заполнение зазора припоем;

-химическая эрозия паяемого металла;

-образование прослоек химических соединений.

Физико-химические процессы при пайке протекают в зазорах 0.05…0.3 мм, поэтому количество жидкого припоя, находящегося в шве, весьма незначительно.

Первый этап взаимодействия - растекание: зависит от соотношения сил адгезии припоя к поверхности основного металла (т.е. сцепления с поверхностью частиц жидкости) и когезии, определенной силами связи между частицами припоя. Растекание будет, если работа адгезии к поверхности основного металла будет больше работы когезии частиц.

Растекание (затекание в капиллярный зазор) – сближение жидкой и твердой фазы продолжается на новые участки, вплоть до установления равновесия между всеми силами поверхностного натяжения □.

По границам раздела всех фаз действуют силы поверхностного натяжения, равнодействующая которых перемещает каплю, благодаря чему величина ее поверхности изменяется, что сопровождается выделением энергии.

Процесс определяется многими факторами:

-характер взаимодействия в контакте основной металл-припой;

-вязкость расплава припоя;

-жидкотекучесть (особенно, когда припой имеет широкий интервал кристаллизации, а пайка им происходит при температурах, лежащих ниже температуры ликвидуса).

Второй этап-смачивание металла в данной точке заключается в перераспределении значительной части межатомных связей в твердой фазе с образованием металлической связи с припоем на границе раздела между ними. Сближение на расстоянии меньше 100 нм. Квантовая природа связей.

Смачивание происходит и в тех случаях, когда основной металл и припой не сплавляются. Экспертиза показывает, что практически в любой системе основной металл-припой можно обеспечить смачивание, для чего необходимо лишь активация атомов на поверхности взаимодействующих металлов.

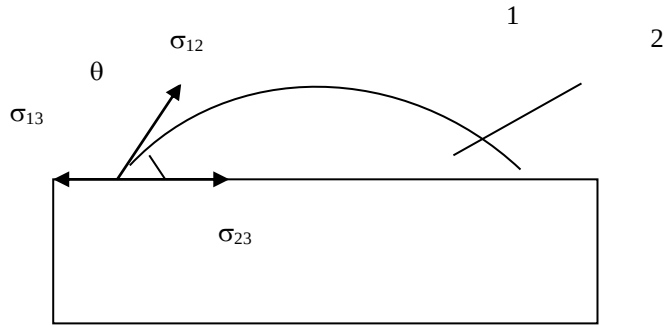


Рисунок …

Смачивающая способность жидкости определяется коэффициентом смачивания.

В момент равновесия силы поверхностного натяжения □ на границе трех фаз:

$$\sigma_{13} = \sigma_{12} * \cos\theta + \sigma_{23}$$

$$\sigma_{13} = \sigma_{23} + \sigma_{12} * \cos\theta$$ ***Закон капиллярности***

(равенство Юнга)

$$\sigma_{13} - \sigma_{23} = \sigma_{12} * \cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{23}}{\sigma_{12}}$$

Угол -краевой угол смачивания, образованный паяемой поверхностью и касательной плоскостью, проведенной через точку раздела всех трех фаз:

при < 45^o-паяемость удовлетворительная;

 = 10^o-хорошая;

 = 0^o-полная;

 = 180^o-отсутствие паяемости.

Допущение: уравнение капиллярности получено, исходя из предпосылки, что равновесие материального объекта рассматривается как равновесие всех приложенных к нему сил, т.е. закон для жидкости, не взаимодействующей с твердым телом.

В процессе пайки же - активное взаимодействие между основным металлом и расплавленным припоем, поэтому капиллярность является более сложным явлением и лишь приблизительно описывается этими уравнениями.

Капиллярное течение припоев в зазоре

Опытным путем установлено, что прямой зависимости между растеканием припоя по поверхности металла и течением его в зазоре нет. Так, припой 34А хорошо растекается по поверхности сплава АМ-6, но не затекает в капиллярный зазор. Припои системы Ni-Cr-Si плохо растекаются по поверхности стали Х18 Н9Т и сплава ЭИ 437Б, но хорошо затекает в капиллярный зазор.

Это может быть объяснено активным взаимодействием расплавленного припоя с основным металлом. В капиллярном зазоре незначительное количество расплавленного припоя интенсивно насыщается компонентами основного металла, что ведет к повышению температуры плавления и потери способности течь.

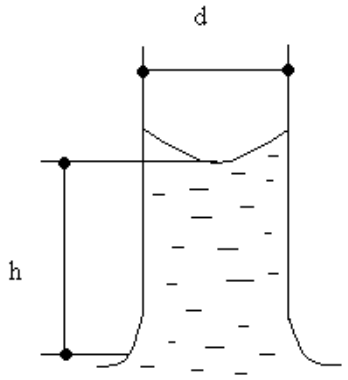
На поведение припоя при растекании по поверхности и течении в зазоре может влиять присутствие в расплаве отдельных кристаллических образований. Если их размеры в расплаве будут превышать величину капиллярного зазора (более чем на 20%), то течение припоя в нем не будет.

При оценке смачиваемости поверхности и капиллярного течения припоев используют статическую метод, рассматривают форму жидкости на поверхности твердого тела в условиях наименьшей свободной поверхностной энергии системы, и динамический метод, рассматривающий течение жидкостей.

Статический метод позволяет оценить силы, под действием которых происходит течение припоев в процессе пайки. Избыточное давление может

быть выражено высотой столба жидкости под заданным уровнем и его плотностью.

Для капилляра диаметром d высота подъема жидкости под заданным уровнем определяется разностью давлений P_1-P_2 между вогнутой и выпуклой сторонами поверхности мениска.



Рисунок…

$$\Delta P = hg\rho = \frac{4\sigma_{12} * \cos\theta}{d}$$

$$h = \frac{4\sigma_{12} * \cos\theta}{\rho dg}$$

где h – высота столба жидкости;

 - плотность;

g – ускорение свободного падения.

Если вес жидкости, находящейся в зазоре больше результирующей капиллярных сил, то эти силы не могут удержать ее, она будет опускаться до тех пор, пока вес не уравновесится капиллярными силами. В условиях пайки это приведет к тому, что участки паяного шва, расположенные выше определенного уровня, остаются не запаянными припоем, и, следовательно, соединение оказывается припаяным не по всей поверхности.

Динамический метод применяют для установления причин, от которых зависит заполнение шва припоем. Скорость течения припоя зависит от нахлестки и зазора, разности давлений на входе и выходе из зазора, от вязкости припоя.

Несмотря на то, что для системы основной металл-припой характерны определенные величины сил поверхностного натяжения и угла , эффективность пайки, как видно из формул, непосредственно связана с величиной зазора.

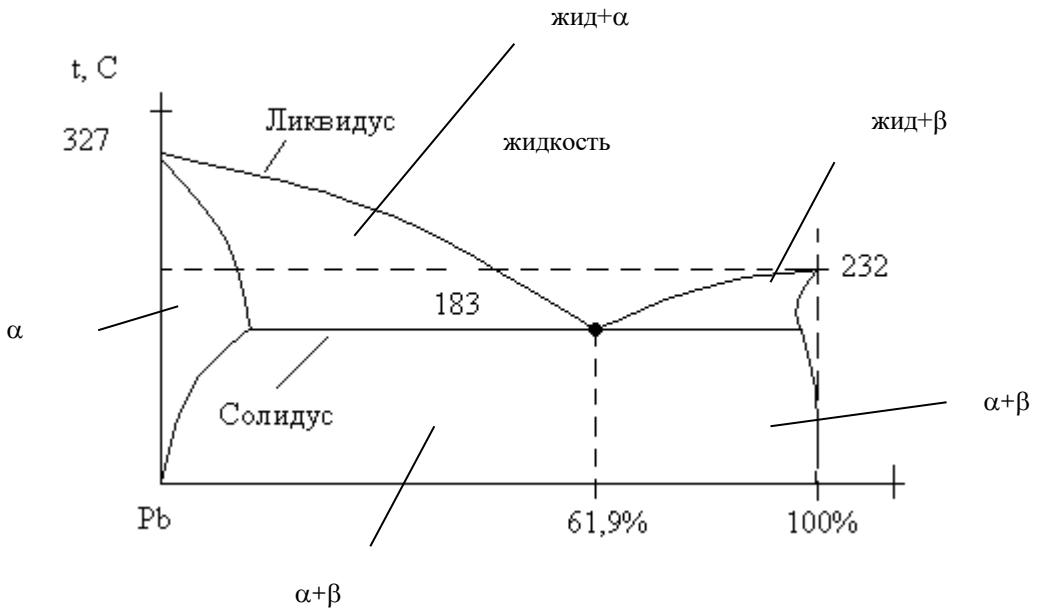
Зазор выбирают по таблицам с жесткими допусками.

Рекомендуемые зазоры при капиллярной пайке:

Припой	Материал (медь и сплавы)
Олово-цинк	0.07…0.15 мм
Серебро	0.03…0.15 мм

Кристаллизация припоя является завершающим этапом образования паяного соединения. Температурный интервал кристаллизации определяется по диаграммам состояния.

Для системы ***свинец-олово***



Рисунок…

Эвтектика, т.е. сплав с наименьшей температурой плавления, имеет 61,9% олова, что очень близко к припою ПОС-61. Составы, лежащие на диаграмме слева (ПОС-30) и справа (ПОС-90) характеризуются верхними прямыми, пересекающими нижнюю линию-***солидус*** и верхнюю-***ликвидус***, что определяет температуру их начала плавления и температуру полного расплавления, т.е. интервал кристаллизации. В этом интервале растекание прекращается, а паяемые детали жестко фиксируются, чтобы не возникали трещины при смещении.

Сравнительная прочность паяных соединений:

Паяемые металлы	Припои	Предел прочности соединения на срез, МН/м ^{2}
Сталь медь латуни	Серебрянные Оловянно-свинцовые	220-360 25-35
Алюминий и его сплавы	На основе алюминия и цинка, оловянно-свинцовые	120-150 25-48

Температура пайки является основным параметром режима образования соединений при конструкционной пайке и определяется свойствами припоя. Продолжительность пайки зависит от теплоемкости паяемых деталей, величины и расположения зазоров между ними; она устанавливается опытным путем.

Наиболее технологичны припои, имеющие эвтектический или близкий к нему состав, для которого характерны отсутствие или малая разница между начальной и конечной температурой.

Припои, содержащие ***Sn-Pb: ПОС-61, ПОС-61 М, ПОССУ-61-0,5.***

Припои, содержащие ***Sb-Sn: кадмиевый ПОСК 50.***

Припои эвтектического состава почти мгновенно переходят из жидкого состояния в твердое, обладают повышенной растекаемостью и коррозийной стойкостью, а также имеют более низкие температуры пайки.

Припои

Качество паяемого соединения, наряду с другими факторами, зависит от используемого припоя, к которому предъявляются следующие требования:

-температура плавления припоя должна быть меньше температуры плавления соединяемых металлов;

-припой должен обладать хорошей ***жидкотекучестью***, смачивать поверхности соединяемых металлов, растекться по ним, проникать в узкие зазоры;

-припой должен образовывать с соединяемыми металлами ***сплав,*** обеспечивающий прочную связь в зоне спая;

-коррозийная стойкость припоя, паяемого шва и основного металла должна быть примерно одинакова во избежание образования микрогальванических пар;

-коэффициент линейного расширения припоя и соединяемых металлов должны быть примерно одинаковы во избежание образования остаточных напряжений и трещин;

К припоям предъявляются и специфические свойства: ***напряжение, электропроводность, теплопроводность, коррозийная стойкость в агрессивных средах*** и т.д.

Существующие припои классифицируются:

-по химическому составу (медные, серебряные, галлиевые, палладиевые, платиновые, никелевые, железные, марганцевые, магниевые, оловянно-свинцовые, индиевые, цинковые, кадмиевые, висмутовые, титановые);

-по температуре плавления:

а) низкотемпературные припои (мягкие) с температурой плавления ниже 450 ºС - на основе Sn, Bi, Cd, Pb, Zn;

б) высокотемпературные припои (твердые) с температурой плавления выше 450 ºС -на основе Cu, Ag, Ni, Co, Te, Al и др.

-по форме: пластичные припои изготавливают в виде полос фольги, проволоки путем прокатки, волочения, прессования; хрупкие - в виде литых прутков, отливок, порошка, паст.

Для удобства использования ***оловянно-свинцовых*** припоев и для повышения производительности труда их изготавляют в виде трубок, заполненных флюсом или пастой, состоящей из порошка и канифоли.

Для удобства применения порошкового припоя его используют в виде паст

Пасты из низкотемпературных припоев состоят из трех частей;

-порошкообразный припой;

-флюс;

-загуститель (крахмал, воск, ланолин, поливинил, декстрин, спирт)

Флюс используют такой же, как и при пайке непорошковыми припоями: канифоль, $ZnCl_2$.

Для придания пасте коллоидного состояния в нее добавляют следующие компоненты:

-крахмал;

-декстрин;

-ланолин;

-воск;

-поливиниловый спирт.

К связующим веществам в порошкообразных припоях предъявляют такие требования:

а) в процессе пайки они ***не должны окислять*** припой и основной металл;

б) при выгорании не должны оставлять ***сажистого осадка;***

в) не припятствовать ***растеканию*** припоя;

г) продукты сгорания не должны быть ***токсичными.***

Для связующих компонентов пастобразивных припоев при безфлюсовой пайке используют акриловую смолу, акриловый лак, сополимер формальдегида с диоксоланом и т. д.

ФЛЮСЫ

Служат для устранения пленки окислов с поверхностей металла и припоя при пайке, защиты поверхностей металлов и припоя от окисления в процессе пайки и уменьшения сил поверхностного натяжения расплавления припоя на границе металл-припой-флюс.

Требования к флюсам

1. Флюс должен быть активен и должен растворять оксиды паяемых металлов.
2. Флюс должен иметь температуру плавления 50-100С, т. е. не ниже температуры плавления припоя.
3. Флюс должен хорошо растекаться по поверхностям основного металла и припоя с образованием сплошной пленки, защищающей их от воздействия окружающей среды.
4. Флюс должен уменьшать поверхностное натяжение расплавленного припоя, обеспечивая смачивание им основного металла.
5. Флюс должен быть термически стабилен и выдерживать температуру пайки без испарения и разложения, проявляя химическую активность в заданном интервале времени.
6. Флюс должен быть безопасен в работе, иметь длительное время хранения.
7. Флюс не должен вызывать коррозии паяемых Ме и припоев.
8. Флюс должен быть экономичным.

Установлено, что флюсующие действия расплавов и растворов флюсов является результатом протекания целого ряда процессов, основными из которых являются:

-химическое взаимодействие между активными компонентами флюса и окислой плёнкой;

-диспергирование (размельчение) окисной пленки в результате адсорбционного понижения ее прочности под влиянием расплава флюса;

- химическое взаимодействие между активными компонентами флюса и основным металлом, результатом которого является отрыв пленки от поверхности основного металла и перевод ее во флюс;
- растворение окисной пленки в расплаве флюса;
- растворение основного металла и припоя во флюсе.

Флюсы для низкотемпературной пайки

Флюсы для пайки черных и цветных металлов.

Смеси буры, борной кислоты и борного ангидрида.

H_3BO_3 – борная кислота

$Na_2B_2O_7$ – бура

B_2O_3 – борный ангидрид (результат их взаимодействия)

Применяется для пайки углеродистых сталей, чугуна, меди, латуни, бронз медными и серебряными припоями при t > 800С.

Для удаления окислов с поверхностей нержавеющих сталей, нихромов, Al бронз в составы флюсов вводят фториды щелочных и щелочноземельных металлов или фторбораты.
При этом температурный интервал действия флюсов достигает 850 – 1150С.

$MeO + B_2O_3 = MeO * B_2O_3$ – легкоплавкий комплекс, который всплывает на поверхность шва и предохраняет его от вторичного окисления.

Флюсы для пайки алюминиевых сплавов

Окислы алюминия химически и термически стойки.
Поэтому применяются смеси хлоридов щелочных металлов.
Хорошо зарекомендовала себя смесь хлористый литий – хлористый калий. Для повышения активности добавляют хлориды тяжелых металлов – хлористый цинк, хлор кадмий, хлористое олово.

ЗУА – KCl, ZiCl, $ZnCl_2$, NaF.

Флюсы для пайки Mg сплавов

Окислы удаляются труднее, чем у Al.
Флюсы – хлориды и фториды щелочных, щелочноземельных металлов (Zi,K,Na). Активные элементы – хлориды тяжелых металлов (Zn,Cd, Sn и др.), которые в процессе пайки вступают в обменные реакции с основным металлом. Вводят Mg, Zn, Mn.

Флюсы для пайки Ti сплавов

Для удаления стойкого окисла TiO_2 используют хлориды и фториды металлов (Zn, Na, K, Ag, Sn). Но они малоактивны и загрязняют поверхность Ti, вступая с ним в реакцию. Поэтому вопрос о флюсовой пайке Ti не решен.

Флюсы для низкотемпературной пайки

Эти флюсы делят на флюсы на основе органических и неорганических соединений. Флюсы второй группы более активны, но соединения при этом менее коррозионностойки.

Флюсы на основе органических соединений

В качестве основы флюсов применяют канифоль, для активизации добавляют:

- спирт
- глицерин
- этиленгликоль
- триэтаноламин
- органические кислоты и другие соединения

Большинство канифольных флюсов не вызывают коррозию.

Существует целая группа органических флюсов для пайки Al и его сплавов на основе органического аминоспирта – триэтаноламина. Активные добавки – фторбораты тяжелых металлов и Al.

Флюсы на основе неорганических соединений

Основные составляющие – хлориды металлов ($ZnCl_2$, NK_4Cl).
Наиболее распространены хлор Zn и хлористый аммоний, которые в смеси активнее, чем каждая соль в отдельности.
Составы флюсов приведены в справочнике.

Марки флюсов, их состав

канифоль	тяжелый металл	припой
ФКСп	Cu, Ag, Sn	Pb – Sn, Pb – Sn – Cd, Ag
ФКЭт	PS – Sn, An, Sn -- Bi	---
канифоль этиловый спирт	---	Могут быть использованы для консервации
ФКТС канифоль салициловая кислота триэталономин этиловый спирт	То же	То же. Необходимо полное удаление флюса после пайки

канифоль	тяжелый металл	припой
ЛТИ – 120 канифоль солянокислый диэтиламин триэтаноламин этиловый спирт	Сталь, Cu, Ni и его сплавы, Sn, Ag, Cd, Zn, Pb – Sn, Sn – Bi	Pb – Sn, Ag
ФЦА хлористый цинк хлористый аммоний	Сталь, Cu и ее сплавы, Ni и сплавы	Pb – Sn, Ag Необходимо полное удаление после пайки

Нагрев основного металла и расплавление припоя приводят к тому, что их активность снижается вследствие взаимодействия с кислородом воздуха и образования окисной пленки.
Чтобы удалить образующуюся окисную пленку в процессе пайки и защитить поверхности деталей от дальнейшего окисления, применяют флюсы, газовые среды, самофлюсующиеся припои или способы физико-механического воздействия (вибрации, УЗ колебания).

Пайка с флюсами наиболее распространена и общедоступна, так как ее можно осуществлять в обычных условиях, без дорогостоящего оборудования. Но флюсовые остатки, продукты взаимодействия их с оксидными пленками приводят к образованию в паяном шве шлаковых включений, что снижает коррозийную стойкость, нарушает герметичность соединений.

Поэтому применяют различные газовые среды (3 вида):

1. активные
2. восстановительные
3. нейтральные или вакуумные

Активированные газы

Флюсование изделий из легированных сталей и труднопаяемых сплавов не всегда дают результаты. В одних случаях пайка может не произойти, в других – на поверхности остаются следы флюса, которые портят внешний вид изделия, или приводят к коррозии металла с течением времени.
Поэтому в атмосферу печи вводят вещество, которое при температуре пайки переходит в газообразное состояние и активно взаимодействует с окислами металлов. Еще лучшие результаты дают газообразные вещества, вводимые в атмосферу печи в микродозах.
Хорошими активаторами газовых сред являются боргалоидные соединения типа $BГ_3$:
BF_3 – трехфтористый бор – тугоплавкий припой
BCl_3 – трехххлористый бор – туго- и среднеплавкий припой
BB_3 – трехбромистый бор – высоко и низкотемпературная пайка

Боргалоидные соединения дают положительный эффект при пайке легированных сталей, жаропрочных сплавов др., кроме легких, таких как Al, Mg, Ti.
Газами – носителями активных компонентов могут быть:

- азот
- аргон
- восстановительные атмосферы

концентрация активаторов (объемные доли) в зависимости от их природы меняется в широких пределах от 1 – 3 % до 0,01 – 0,001 %.

Восстановительные газы

Основные восстановительные газы – водород и окись углерода. Восстановительные свойства имеют также различные газовые среды, полученные из диссоциированного аммиака, генераторного газа, углеводородных и других газов, содержащих водород, окись углерода или их смеси.
Взаимодействие водорода и окиси углерода с окислами металлов происходит по реакции:

$$1/n\ Me_mO_n + H_2 = m/\ n\ Me + H_2O$$

$$1/n\ Me_mO_n + CO = m/\ n\ Me + CO_2$$

Особенности реакций

1) с повышением температуры восстановительные свойства H_2 повышаются, а CO – снижается.
   До 810 С активным восстановителем является CO, а >810 С – H_2.
2) при температуре пайки эти газы восстанавливают окислы Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Ge, Mo, Ni, Sb, Su и Pb, если они находятся в свободном состоянии. В сплавах стойкость окисной пленки зависит от химического состава. Поэтому возможность пайки в восстановительной атмосфере решают в каждом случае отдельно. Практика показывает, что в восстановительной атмосфере можно паять лишь низкоуглеродистые и иногда легированные стали. Не удается паять легкие металлы: Al, Mg, Ti и их сплавы.
3) на восстановительные свойства газов сильное влияние оказывает влага, примеси кислорода и двуокиси углерода, которые способствуют протеканию реакции в обратном направлении.

Нейтральные среды (Ar, He, N_2)

Вакуум, используемый для пайки:

- средний $1.33 * 10 – 1.33 * 10^{-2}$ м/м^2 ($10^{-1} – 10^{-4}$ мм рт.ст.) – средний для паек сталей, бронз, никелированных сплавов;
- высокий – пайка титана, циркония и т. д.;
- низкий $< 1.33 * 10$ м/м^2 (10^{-1}мм) – не используется.

При пайке металла в нейтральных газовых средах и вакууме основные процессы удаления окисных пленок – диссоциация, возгонка, растворение окислов в основном металле и припое.

Диссоциировать на составные части при нагреве могут как отдельные окислы, так и более сложные соединения, образованные в результате взаимодействия окислов металлов с компонентами окружающей среды.

Возгонка - непосредственный переход вещества из твердой фазы в газообразную. Этот процесс имеет большое значение при высокой температуре пайки. При этом становится возможным вынос их из зоны пайки.

Кислород способен растворяться в твердых Ме. Растворимость кислорода ближе к растворимости водорода. Если содержание растворенного в Ме кислорода больше предела растворимости, то образуются окислы, которые тоже могут растворяться в твердом Ме. С повышением температуры количество кислорода, удерживаемого Ме, увеличивается. При пайке происходит перераспределение кислорода в поверхностном слое Ме. При снижении температуры, после пайки избыточное количество кислорода выделяется и переходит в окислы, но распределение их в шве будет объемным, что не может отразиться на качестве паяных соединений.

Достоинства пайки в вакууме: предупреждает охрупчивание нержавеющих сталей и жаропрочных сплавов из-за отсутствия возможности образования на их поверхности нитридов и гидридов.

Недостатки: сложное оборудование.

Самофлюсование

Используется при пайке нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов, т. к. из-за наличия на их поверхности стойких окисных пленок, содержащих

окислы Cr, Ti, Al, смачивание основных Ме затруднено. Применение солевых флюсов не исключает загрязнения металла шва ими, что может явиться очагом коррозии.

При добавке в нейтральные газовые среды газообразующих флюсов в виде фтористых соединений, значительно снижается температура пайки, требуются меры предосторожности, дороже, чем солевые.

Пайка нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов в восстановительных средах (H_2) иногда могут привести к охрупчиванию припоя и обезуглероживанию основного металла.

Применение покрытий Cu, Ni и др. приводят к соединениям низкой прочности. При применении активных газовых сред и вакуума необходимо специальное дорогое оборудование, поэтому используется обычно пайка в нейтральных средах самофлюсовыми припоями.

В качестве самофлюсовых компонентов используют B, P, Ge, Ba, Zi, K, Na и др.

Минимальное количество добавки определяется эффективностью добавки в процессе пайки. Максимальное количество добавки определяется отрицательным влиянием на свойства припоя и паяных соединений. Наиболее распространенные: B, Se, Zi, P, Si.

Самофлюсование припоев связывают с восстановительными свойствами флюсующих добавок, а также с ролью образующихся при этом окислов, которые при температуре пайки взаимодействуют с окисной пленкой основного металла, переводя ее в легкоплавкий шлак.

P используют в припоях на Cu и Ni основе.

Si-на основе Cu, Ni, Mn, Co, Ag, Au до 5-10%

Zi- на основе Cu, Ni, Ag. Ценность введения Zi усиливается благодаря его сродству к O_2, N_2, H_2, S, что способствует повышению характеристик припоев.

Классификация металлов по паяемости

Группа	Материалы	$K_p=h_o-h_p/ h_o$	Q, град
Легкопаяемые	Su, Au, Ag, Cu и их сплавы	0.8…0.97	0…12
Среднепаяемые	Ni, Zi, латунь, бронза, сталь	0.6…0.82	5…20
Труднопаяемые	Mg, Al, титан, молибден, нерж. сталь и др.	0.5…0.6	20…40
Непаяемые	Керамика, стеклокерамика, ферриты, п/п	---	120…160

K_p-коэффициент растекания;
h_o-высота до растекания;
h_p-высота после растекания;
Q-краевой угол смачивания.

Технология пайки

Для обеспечения качества соединений необходимы:
-подготовка поверхности сталей-удаление загрязнения и окислов;
-контроль паяемости;
-активированные соединения металла, т. к. нагрев основного металла и припоя приводят к тому, что их активность снижается вследствие взаимодействии с кислородом воздуха и образовании окисной пленки. Чтобы удалить пленку, защитить поверхности от дальнейшего окисления применяют: флюсы, газовые среды, самофлюсование, физико-механическое воздействие(УЗ, мех.вибрация);
-обеспечение взаимодействия на границе основной Ме-непр;
-создание условий для кристаллизации ж. Ме прослойки;
-очистка паяного соединения;
-контроль качества;
-консервационное покрытие.

Подготовка поверхности

Качество паяного соединения зависит от тщательности подготовки соединяемых поверхностей. Для получения прочного соединения необходима хорошая смачиваемость поверхностей флюсами и припоями, которые зависят как от свойств материалов, так и от наличия на соединяемых поверхностях оксидов, органических загрязнений, остатков абразивных частиц и других инородных материалов.

Металлическое покрытие наносят на поверхность деталей с целью:
- облегчения процесса пайки трудно паяемых металлов (технологические покрытия);
- облегчения процесса пайки и дозирования припоя;
- устранения пористости поверхности паяемого металла (в случае необходимости вакуумной плотности соединения);
- обеспечения пайки неметаллических материалов (керамика и другие);
- улучшения коррозионной стойкости;

Барьерные (защитные) покрытия - для ограничения растекания припоя по паяемой поверхности и предотвращения нежелательного взаимодействия его с паяемым металлом на последний наносят предварительно

Способы нанесения покрытий

1 Нанесение покрытия погружением (лужение).

Лужениеприменяют для подготовки поверхности под пайку (толщина слоя 7 - 10 мкм), для предварительного дозирования припоя (>20 мкм), для антикоррозионной защиты деталей (2 - 7 мкм).

Горячее лужение осуществляется погружением изделия в жидкий припой. Поверхность в ваннах горячего лужения систематически очищается от окисной плёнки. В родниковых ваннах предотвращение окисления припоя обеспечивается подбором режима фонтанирования.

Центробежное лужение является разновидностью горячего лужения. Сетчатая ёмкость с деталями из ванны с припоем переносится в центрифугу, где центробежными силами удаляются излишки припоя.

2 Гальваническое покрытие наносят в стационарных ваннах в конвейерных установках или во вращающихся барабанах. Метод применяется для всех сталей, медных сплавов, никелевых сплавов, цинковых отливок и алюминия. Для покрытия используют чистые металлы и сплавы Sn-Cu, Sn-Zn, Sn-Ni и другие.

Лужение с помощью УЗ можно осуществить паяльником или погружением в ванну с припоем.

3 Шоопирование может быть применено для металлизации, как металлами, так и сплавами. Недостаток окисление капель. Способ ????????? для самофлюсующихся припоев.
4 Для осуществление пайки металлов с неметаллами (стеклом, керамикой) на поверхность наносят металлизированный слой вжиганием.
5 Нанесение покрытия может быть произведено совместным прокатом основного металла и металла - покрытия (плакировка). Толщина слоя 0,1 мм.
6 Высокое качество покрытий может быть обеспечено нанесением металла в вакууме.

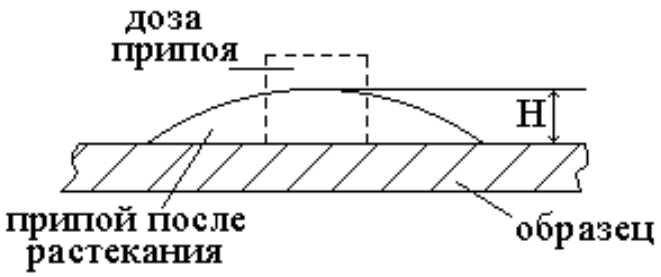
Контроль паяемости

Контроль подготовленных поверхностей на паяемость определяет их пригодность для пайки. Существует много методов контроля на паяемость различных типов деталей, основанных на оценке качества и времени смачивания в системе металл – флюс – припой.

1 Простейший контроль – образец опускается во флюс, затем расплавленный припой на заданное время с последующей оценкой площади облуживания поверхности, контактировавшей с припоем. При этом должно облудиться не менее 95% этой поверхности.

Критериями оценки качества паяемости монтажных отверстий печатных плат является время и качество смачивания поверхности отверстий при прохождении через них расплавленного припоя при погружении с определённой скоростью в ванну с припоем образца печатной платы.

2 Паяемость плоских поверхностей может быть оценена по степени и скорости растекания капли припоя по подготовленной и нагретой до определённой температуры поверхности.

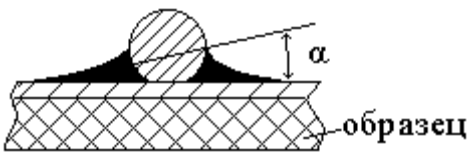


$K_p = S_p / S_\circ$

K_p – коэффициент растекания;
S_p – площадь, занимаемая припоем после растекания;
$S_\circ$ - площадь занимаемая припоем в исходном состоянии.

Если $K_p \geq 0.9$, $H \leq 0.6$ мм – паяемость удовлетворительная.

3 Оценку паяемости цилиндрических поверхностей на плоскости производят по значению угла смачиваемости, который должен быть $\alpha < 30°$



Пайка

Процесс пайки включает в себя:

1 фиксацию соединяемых элементов с предварительно подготовленными поверхностями пайки;
2 нагрев поверхностей пайки до заданной температуры в течении определённой величины;
3 введение в зону пайки флюса и припоя в достаточном количестве;
4 расплавление припоя и смачивание им поверхностей пайки;
5 остывание припоя в условиях исключающих взаимное перемещение спаиваемых поверхностей.

1 Фиксация при пайке соединяемых элементов для того, чтобы обеспечить их правильное взаимное положение, необходимые зазоры для проникновения в них флюса и припоя и исключить смещение деталей при пайке и затвердевании припоя.

Способы фиксации 1)инструмент ,2)конструкция паяного соединения (намотка провода, скручивание, подгибка лапок и тому подобное), 3)применение вспомогательных элементов (специальные гнёзда для деталей, технологические рамки и т.п.), что особенно в автоматизированном производстве.

2 Нагрев - при проведении процесса пайки необходимо выдержать определённую температуру пайки. понижение температуры приводит к недостаточной жидко текучести припоя и плохому смачиванию соединяемых поверхностей следствием чего может быть дефект “холодная пайка”.

Значительное увеличение температуры пайки вызывает обугливание флюса до активации им поверхности спая, а также избыточное нанесение припоя на соединяемые поверхности.

Оптимальная температура пайки:

$$Тп=Тк+(40/80)С,где$$

Тк - температура начала кристаллизации припоя.

В зависимости от теплоёмкости соединения выбирают мощность паяльника, которая должна обеспечить нагрев спаиваемых поверхностей в заданное время.

Если использовать паяльник, то температура кончика рабочего стержня паяльника Тс должна быть:

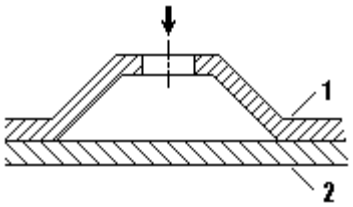
$$Тс=Тп+(20/40)С$$

Так как многие ЭРЭ нельзя нагревать выше определённой температуры, важно контролировать температуру паяльника или использовать тепло отводы (пинцеты, плоскогубцы).

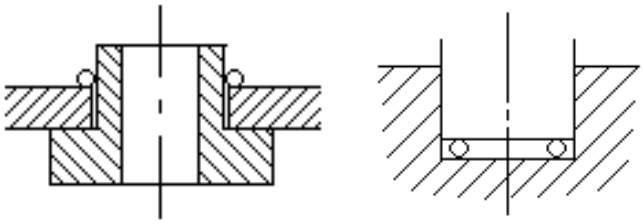
3 Ведение. Припой в зону пайки подаётся в виде пасты (припой+флюс+связующее вещество), колец, шайб, пластинок.

Пасту к месту пайки подают экструдером в дозированном количестве. При этом предусматривают достаточные по объёму полоски.

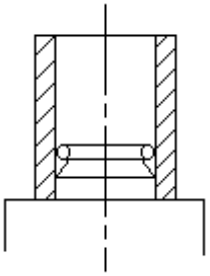
В отверстие детали А нагнетается паста, заполняющая отштампованную канавку. При нагреве паста плавится, и припой растекается по поверхности контакта деталей 1 и 2.



Приметы установки колец и шайб припоя в зону пайки. Желательно установить до пайки, независимо от способа. Чтобы припой проникал не только под действием капиллярных сил, но и сил тяжести.



Припой в виде толстого кольца заполненного флюсом при нагреве сначала вытекает флюс, а затем плавится припой, заполняя зазор.



Чтобы обеспечить проникновение припоя к месту соединения необходимо правильно выбрать зазоры.

При пайке мягкими припоями - 0,05 - 0,2 мм

твёрдыми припоями - 0,03 - 0,05 мм

устранить в зоне пайки и правильно рассчитать тепловые деформации деталей.

4Раплавление припоя и смачивание им поверхностей пайки.

5 Остывание припоя.

Удаление остатков флюса

Остатки флюсов в виде продуктов реакций взаимодействия компонентов флюсов с основным металлом и припоем почти всегда присутствуют на поверхности паяного соединения, ухудшая качество паяного соединения, портят внешний вид изделия и снижают коррозионную стойкость.

Способы удаления остатков зависят от состава и свойств флюсов.

Например, продукты взаимодействия буры с окислами при остывании образуют стекловидную массу, прочно связанную с поверхностью. Она практически не растворяется в воде и с трудом удаляется при механической зачистке. Эти остатки удаляются обработкой в специальных растворах, механической зачисткой.

Флюсы, применяемые для пайки легких сплавов, относят к коррозионно-активным, они способствуют развитию электрохимической коррозии. Поэтому нужна тщательная промывка в горячей и холодной воде, качество улучшается с применением УЗ. Отметим также и другие составы

раствор хром. ангидрида (пассивация поверхности)

раствор углекислой соды.

Органические флюсы без добавления хлоридов, как правило, некоррозийно-активны или очень слабо активны, и их остатки можно не удалять с поверхности.

Флюсы, содержащие хлориды металлов должны быть обязательно удалены. Остатки канифольных флюсов удаляют спирто - бензиновой смесью. Водные растворы хлористых флюсов удаляют промывкой в горячей и холодной воде. Хорошие результаты даёт УЗ - очистка.

Контроль качества паяных соединений

Дефекты при пайке;

непропай - плохая смачиваемость, нарушение режимов, нарушение соотношения размеров выводами детали и диаметра отверстия в печатной плате.

перемычки - из-за неправильного конструктивного оформления

сосульки - низкая температура пайки, мало время пайки, плохая смачиваемость

холодная пайка - неровные контуры, трещины и складки

натёки - избыток (не правильный угол соприкоснавения)

налипание припоя - неправильно выбран флюс

трещины и раковины - температура, материалы

Наибольшее распространение

1) визуальный контроль;
2)проверка прочности соединений;
3)оптическая аппаратура;
4)радиационный;
5)рентгеновский.

Консервация

Консервация подготовленных поверхностей используется для сохранения паяемости во время межоперационного хранения.

Консервация осуществляется путём нанесения специальных защитных покрытий, большинство из которых не удаляется при пайке и служит защитой от загрязнений и воздействия рук во время сборки. Такие покрытия не создают препятствий для взаимодействия между флюсами и паяемыми металлами, так как их состав согласуется с составом применяемого флюса.

Используют два вида консервирующих покрытий:

1)ацетоно - или спиртоканифольные для последующего применения канифольных флюсов;

2)конверсионные, представляют собой плёнки, образуемые из основного металла, для последующего применения кислотных флюсов.

Покрытия наносят погружением в раствор, пульверизатором или кистью. После испарения растворителя на поверхности образуется плёнка, препятствующая проникновению влаги.

Законсервированная печатная плата может храниться в течении 6 месяцев.

Способы пайки.

Способы пайки определяются источниками тепла, используемыми для расплавления припоя и нагрева соединяемых деталей. Здесь используются те же источники тепла, что и в сварочной технике, а также специфическое оборудование.

1.Электродуговая.

2.Плазменная.

3.Контактная (пайка сопротивлением). Ток проходит через соединение деталей, либо нагревает инструмент.

4.Индукционная (f=150-600 кГц).

5.Электронно-лучевая.

6.Газоплазменная (используется на многопозиционных машинах-автоматах).

7.Световая (в том числе инфракрасная – монтаж ПП).

8.Лазерная.

9.Пайка в печах.

10.Пайка погружением.

11.Ручная пайка паяльником.

Пайка в печах.

Пайка в печах наиболее полно соответствует технологическим особенностям процесса, обеспечивает высокое качество паяных соединений и позволяет наиболее широко применять механизацию и автоматизацию в производстве. По методу нагрева печи делят на группы:

1.электропечи;

2.индукционные печи и установки;

3.газоплазменные печи.

Печи 1,2 могут быть с контролируемой атмосферой и вакуумные. Печи с контролируемой атмосферой оснащены устройствами для транспортирования паяемых изделий, установками для приготовления контролируемой атмосферы. При выборе режима пайки в печах стремятся совмещать ее с термообработкой паяного узла.

Газовые среды, используемые при пайке.

Газовые среды используют обычно при пайке в печах. Пайка в газовой среде по сравнению с пайкой с применением флюсов имеет следующие преимущества:

1.получение высококачественного соединения;

2.повышение производительности процесса;

3.уменьшение коробления изделия, вследствие равномерного нагрева деталей;

4.возможность контроля температуры пайки и времени выдержки деталей в печах;

5.возможность механизации и автоматизации ТП;

6. возможность одновременной пайки партии деталей или пайки за один прием сложных изделий, имеющих несколько швов;

7.состояние поверхностей паяных деталей не требует очистки после пайки.

Для пайки применяются инертные восстановительные активированные газовые среды. Пайка в печах может быть осуществлена также в вакууме. Припой может быть кольцами, лентами и проволокой.

Пайка погружением.

Пайка может осуществляться погружением в соляные ванны и в расплавленный припой.

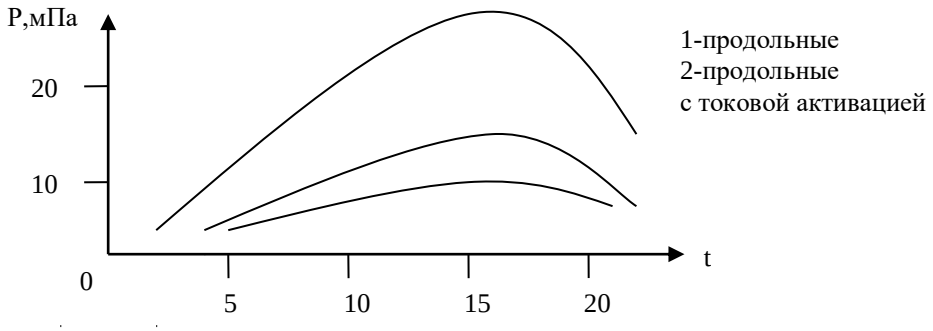
Пайка в соляных ваннах.

Достоинства:
- возможность пайки сложных узлов с близко расположенными друг от друга швами;
- высокая производительность, так как в ванну погружают несколько узлов одновременно;
- точное регулирование температуры нагрева.

В качестве солей для алюминия используют фториды щелочных и щелочноземельных металлов.
Для пайки сталей в солях - соли бария и хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов. Припайке стальных изделий латунью одновременно может осуществляться цианирование и цементация. Нагрев может быть прямой и косвенный. Косвенный нагрев производится в вакууме или контролируемой атмосферой в погружаемых в расплавы солей специальных контейнерах. Длительность < 2 минут.

Ультразвуковая пайка.

Ультразвуковая пайка – перспективное направление в технологии, так как упругие механические колебания f=18 – 70 кГц и интенсивностью 0,1 – 1 МВт/м^2 резко интенсивно большинство физико-химических процессов при пайке – смачивание, растекание, капиллярное течение припоя. Используемые ультразвуковые колебания в установке пайки волной припоя способствуют повышению качества пайки электрорадиоэлементов на плату, устранение флюсов из технологии процесса, оптимальному потреблению припоя, уменьшение загрязнения поверхности паяного изделия. При изготовлении однотипных изделий в серийном и массовом производстве используют ультразвуковые колебания с механизированной подачей припоя к месту пайки. Наиболее эффективно с точки зрения прочности сцепления от времени воздействия колебаний, распространяющихся параллельно обрабатываемой поверхности(3).



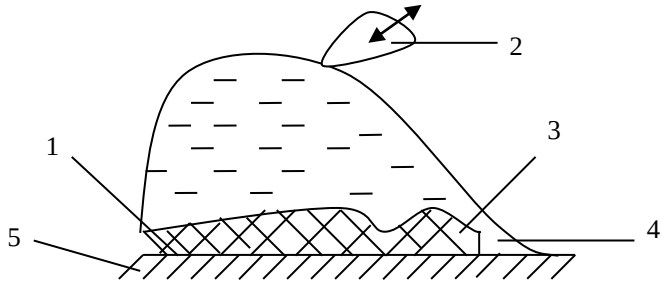
Пайка алюминием припоем ПОС-61

Для лужения и пайки алюминиевых изделий применяют ультразвуковые паяльники
УП-21, УП-42.

УП-42:

рабочая частота 23-26 кГц;
мощность генератора 30Вт;
мощность нагревателя 170Вт;
напряжение и частота 220В,50Гц;
габаритные размеры паяльника 260×150×45мм;
Масса 0,9 кг.

Введение упругих механических колебаний 18кГц и более в расплавленный припой при амплитуде их 1 мкм и выше приводит к кавитации, т.е. непрерывному рождению и исчезновению газовых пузырьков. Постепенно эрозия наружных слоев детали обнажает чистый металл, который тут же смачивается припоем.



Так как амплитуда колебаний быстро гаснет при удалении от излучателя, на практике для уменьшения мощности оборудования стремятся приблизить деталь к излучателю. При проведении ультразвуковой пайки паяльником в качестве излучателя упругих колебаний служит жало паяльника, жестко скрепленное с сердечником магнитострикционного преобразователя, получающего электрические импульсы ультразвуковой частоты от лампового или транзисторного генератора. При лужении в ультразвуковой ванне излучателем служит дно ванны. Преимущество ультразвуковой пайки является устранение флюса.

Недостатки:

- пониженная производительность при пайке паяльником;
- малая емкость ультразвуковой ванны;
- невозможность выполнения нахлесточных соединений, т.к. нельзя ввести излучатель в малый зазор.

Холодная пайка.

Холодная пайка – пайка галлиевыми припоями (амальгамами). Сплавы Ga с различными элементами получают смешиванием жидкого Ga с мелкодисперсными порошками металлов Cu, Au, Ni, Sn, Co, Be. Особенность сплавов – затвердевая почти при комнатной температуре они могут сохранять свои свойства до 250-900°С.(в зависимости от состава припоя). Время затвердевания - от нескольких минут до нескольких часов. В растворе затвердевания образуются интерметаллические соединения, обладающие достаточно высокой механической прочностью, стойкостью против коррозии, электропроводностью.

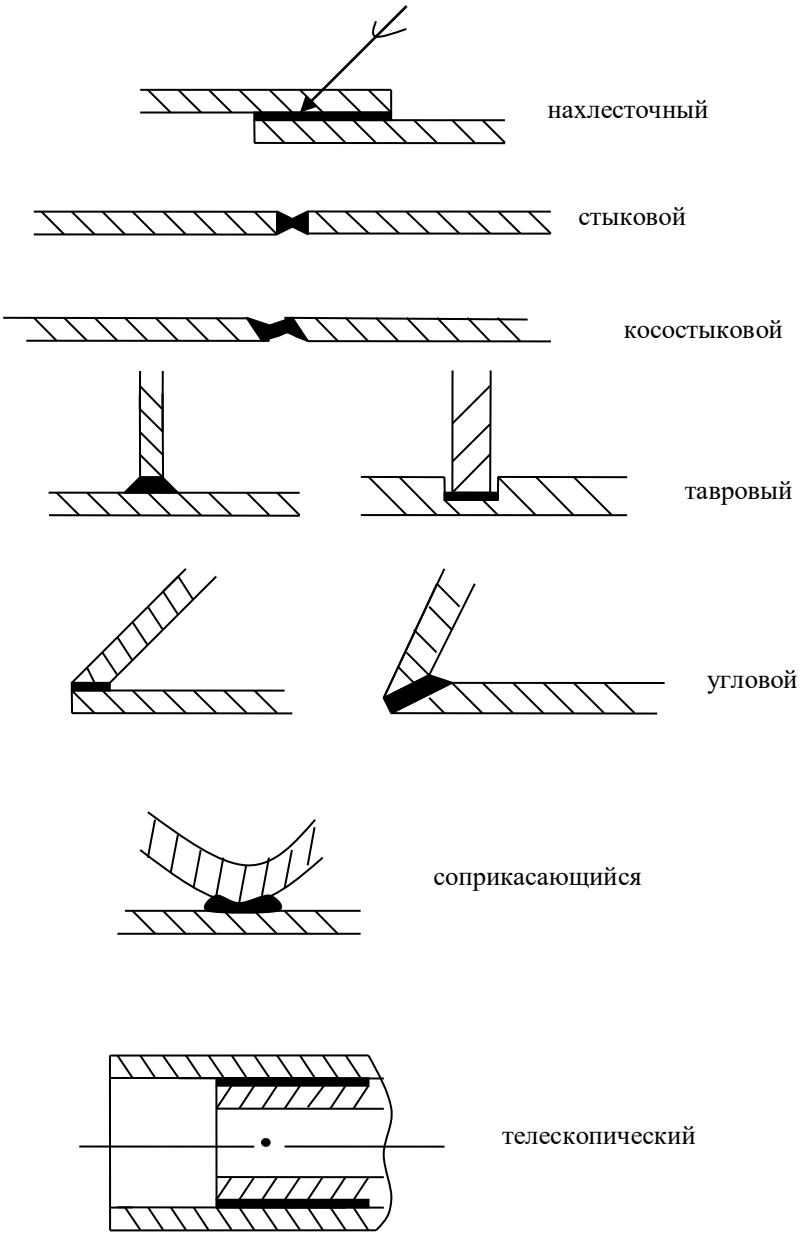
Галлиевые сплавы для холодной пайки.

Состав,%	Время затвердевания при комнатной температуре, ч	Максимальная температура эксплуатации на воздухе, °С
44 Cu + 24 Sn + 32 Ga	24	650
50 Cu + 18 Sn + 32 Ga	24	700
66 Cu + 34 Ga	4	900
82 Au + 18 Ga	5	450
66 Au + 34 Ga	8	525
59 Au + 41 Ga	8	650
39 Au + 31Ag + 30 Ga	2	425
65 Ni +35 Ga	48	250

Технологичность паяных соединений.

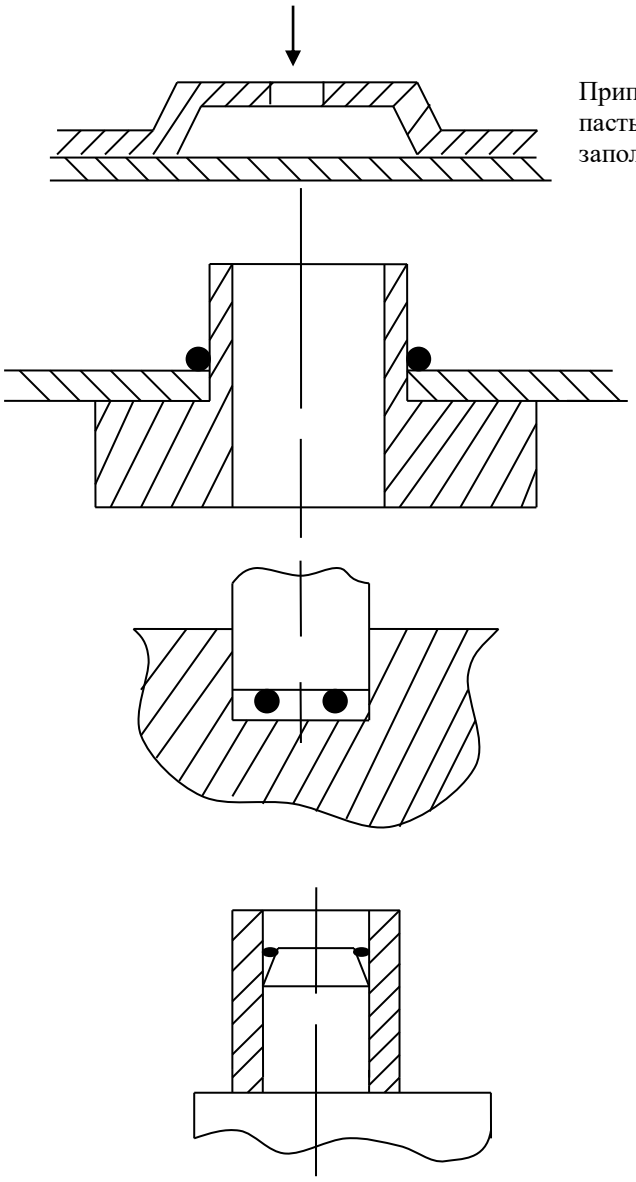
При конструировании паяных соединений необходимо обеспечить совместимость типа соединения и материалом конструкции со способом пайки, техническими материалами и оснащением.

1. Основные типы паяных соединений.



2.Число паяных соединений должно быть минимальным. Соединения должны располагаться
по конструкции равномерно, по возможности, в менее нагруженных местах.
3. При конструировании следует учитывать различие температурных коэффициентов расширения (если использовать разнородные материалы), т.к. при пайке, возможно, такое изменение соединительных зазоров, что припой их не заполняет.
4. Для пайки разнородных материалов, таких как Al и Mg, Mg и сталь, Al и Cu и др. На поверхность наносят барьерные покрытия, активного взаимодействия. Припой должен хорошо смачивать покрытие и один из металлов. Например, при пайке Cu или стали с алюминиевыми сплавами, покрытыми слоем Ni, используют ПОС.
5. В соединении должен быть обеспечен капиллярный зазор. При этом Ra <6,3 мкм. Зазор зависит от физико-химических свойств основного металла и припоя, а также характера взаимодействия между ними. Чем лучше припой смачивает

поверхность, тем меньше назначают зазор. Зазор обычно определяется на основе экспериментов.
6. Для выхода расширяющихся в процессе нагревания газов в деталях рекомендуется выполнить технологические отверстия.
7. При изготовлении изделий высокой точности после пайки необходимо предусмотреть механическую обработку (вследствие коробления деталей).
8. Если пайка ступенчатая, то припои температура пайки должны быть выбраны таким образом, чтобы при получении последующих швов не произошло расплавление предыдущих.
9. При конструировании деталей под пайку следует заранее решать вопрос о методе пайке и размещении припоя.



Припой в зону пайки подается в виде пасты через отверстие детали, заполняя отштампованную канавку.

Припой подается в зону пайки в виде колец и шайб.

Склеивание

Склеивание – один из древних способов соединений. Есть сведения, что клей человек, применял свыше 3 тысяч лет назад. В древности клей готовили из битума и дегтя. В Египте – древесная смола + яичный белок. До 20 в. технология развивалась очень медленно. Во время 2-й мировой войны толчок, т. к. требовалась военная промышленность. Используется в строительстве, автомобилей, авиации, ракетостроении.

Особенности клеевых соединений.

1. ТП прост, нетрудоемок, производителен.
2. Склеиванием могут соединяться материалы любой толщины, габаритов, конфигурации.
3. Склеиванием можно соединять разнородные материалы.
4. Допуски на геометрические размеры сопрягаемых деталей могут быть расширены.
5. Сохраняется исходная прочность склеиваемых материалов.
6. Клеевым швам можно придать специфические свойства:
- прозрачность, внешний вид;
- электропроводность (контакторы);
- эластичность;
- резистивные;
- ферромагнитные;
- диэлектрические и т. п.
7. Не образуют гальванических пар.
8. Не способствуют (а даже предотвращают) коррозию материалов.
9. Хороший внешний вид, цвет.
10. Возможность герметизации.
11. Шумо-вибропоглощение.

Недостатки клеевых соединений:

1. невозможность ремонта;
2. иногда недостаточно высокая прочность;
3. невысокая усталостная прочность при воздействии нагрузок циклического характера;
4. склонность к ползучести под нагрузкой;
5. невысокая жизнестойкость многих композиций;
6. токсичность входящих в состав клея компонентов;
7. длительность сушки.

Клеящая способность, свойственная некоторым веществам (чаще всего высокомолекулярным) обусловлена тем, что между клеем и материалом изделия возникают силы адгезии. Адгезия – характеризуется проявлением межмолекулярных и химических связей при достаточном сближении молекул клея и соединяемых материалов.

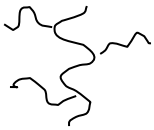
Межмолекулярные связи обладают сравнительно небольшой энергией. Они действуют на расстоянии 0,5÷0,7 н.м. Адгезивая связь, обусловленная этими силами неустойчива. Химические связи (ионные и ковалентные) проявляются при меньших расстояниях. Их энергия в десятки и сотни раз выше адгезивых. Связь, обусловленная химическими связями наиболее устойчива.

Адгезия может быть усилена диффузией молекул клея в межмолекулярное пространство материала, а для пористых материалов механическим заклинивания клея в порах и кратерах.

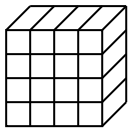
Когезия обусловлена проявлением межмолекулярных и химических связей между молекулами полимера, составляющего основу клея.

Полимеры обладают линейной разветвленной или пространственной структурой:

- линейная структура



- разветвленная



- сетчатая (пространственная)

Рисунок – структура полимеров.

Линейные и разветвленные структуры легко переходят в жидкое состояние, т.к. отдельные молекулы связаны слабыми межмолекулярными силами. Эти связи легко разрушаются при нагреве или под действием растворителей.

Растворы или расплавы полимеров используются в качестве клея. Когезионная прочность клея в жидком состоянии незначительна.

Для усиления когезионной прочности необходимо перевести растворенный или расплавленный клей в твердое состояние. При этом произойдет сближение частиц клея.

Но охлаждение или удаление растворителей не даёт изменения формы макромолекул или их размеров.

Толщина плёнки клея 0,01…0,15 мм, иначе появляются трещины.

В зависимости от вида полимера, составляющего основу, клеи делятся на группы.

Термопластичные клеи

Основой являются термопластичные полимеры, имеющие линейную и разветвленную структуру, способные многократно плавиться и размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении.

К ним относят:

- полиамидные
- полистирольные
- полиметакриловые
- перхлорвиниловые

Клеи имеют сравнительно невысокую теплостойкость, склонные к ползучести под нагрузкой предназначены главным образом для несиловых соединений неметаллических материалов.

По составу чаще всего однокомпонентные клеи недороги, достаточно, технологичны.

Термореактивные клеи

Основой являются термореактивные полимеры – химически активные полимеры, способные отверждаться в процессе переработки и необратимо переходить в нерастворимое и неплавкое состояние.

- БФ – 2,4,6
- Эпоксидный
- Полеуритановый ПУ – 2

Обладают более универсальными адгезионными свойствами, высокой механической прочностью, теплостойкостью, химической стойкостью и стабильностью параметров при эксплуатации.

Недостатком является повышенная жесткость в отвержденном состоянии.

Чаще всего клеи применяются в виде многокомпонентных композиций. Состав композиций:

- *Связующие вещества* – термореактивная смола, обладающая клеящими свойствами, обеспечивающая адгезионную и когезионную прочность и монолитность клея;
- *Наполнитель* – порошкообразное или волокнистое вещество. Назначение: уменьшает усадку при утверждении, регулирует вязкость, снижает внутреннее напряжение, повышает твердость и теплостойкость(кварц, асбест, сланец, стекловолокно и др.). Некоторые наполнители придают клеящим композициям специфические свойства – резистивные, ферромагнитные, электропроводящие. При этом если в качестве наполнителя используются тонкие волокна Cu, Ag, графита и др. можно получить электропроводящие клеи;
- *Пластификаторы* повышают эластичность охлажденного клея и сопротивляемость к ударным нагрузкам и действию переменных температур (дибутилфталат, полиэфирные смолы, низкомолекулярные каучуки);
- *Растворители* – регулируют вязкость исходного клея и улучшают его смачивающую способность;
- *Отвердители* – химически активные вещества, способные взаимодействовать со связующим веществом с образованием пространственной структуры (кислоты и ангидриды кислот, основания, соли, перекиси);
- *Катализаторы* – вещества ускоряющие процесс отвердения;
- Ингибиторы – замедляют химические реакции, чтобы продлить срок хранения композиции;
- Стабилизаторы – для замедления процессов старения полимеров под влиянием t, влаги, O_2 , озона, УФ излучения.

В состав клея могут входить не все перечисленные компоненты. В отдельных случаях в состав клея могут входить лишь связующее вещество и отвердитель.

Эластомерные клеи

Основой являются полимеры, обладающие упругостью, эластичностью, способные деформироваться под нагрузкой.

Основой эластомерных клеев являются различные каучуки (полихлорпренован, полисульфидные и др.) или водные дисперсии каучуков. Для повышения когезионной прочности клея вводят полиуретановые, эпоксидные и др. смолы. Отвердители для клеев на основе каучуковых смесей называются вулканизирующими агентами.

Клеи животного происхождения – казеиновый

Казеин (от лат. сыр) – сложный белок, образующийся при створаживании молока под действием протеолитичесаих ферментов. Составляет основную массу творога, применяется для производства красок, клеев, пластмасс. Быстро переходит в твердое состояние, т.е. используется, когда необходимо быстро провести склеивание. Используется для пористых материалов, бумаги, но неводостойкий. Используются различные добавки.

ТП склеивания

1. Подготовка склеиваемых поверхностей – очистка и обезжиривание склеиваемых поверхностей.

Поверхности деталей, подлежащих склеиванию должны быть ровными, гладкими и тщательно пригнанными друг к другу.

Чистота поверхностей должна быть Ra=0,63; Rz=20.

Чтобы увеличить площадь контактирующих склеиваемых поверхностей металлы подвергают

Цель этапа – достичь максимально возможной смачиваемой поверхности клеем для наилучшего контакта между клеем и поверхностью.

Различают физическую и химическую обработку поверхности.

Физическая обработка включает следующие виды:

- Механическую (лезвийную и абразивную обработку, обработку механической щеткой, песко- и дробеструйную обработку)
- Облучением (γ- лучами, УФ, ИК- лучами, ионную бомбардировку)
- Ультразвуком
- Статическим и высокочастотным разрядом
- Газо-плазменную
- Сушку

Химическая включает:

- Обезжиривание (распылителем, тампоном, поливом, опусканием в ванну, в парах растворителя и др.)
- Травление
- Фосфатирование
- Анодирование
- Использование адгезионных грунтов

Чаще всего применяется сочетание механической обработки с обезжириванием, а при сильно замасленных деталях их обезжиривают до и после механической обработки. Механическая обработка должна быть проведена в течении 24 ч. до склеивания, т. к. со временем на поверхности образуется окисная пленка, которая снижает активность обработанной поверхности.

Для обезжиривания применяются органические растворители (ацетон, бензин, керосин, уайт-спирт, и др. специальные растворы).

Оптимальная чистота поверхностей должна быть Ra=0,63; Rz=20.

Микро неровности поверхности не должны быть очень малыми, т.к. клей плохо задерживается на такой поверхности, и не должны быть очень большими, т.к. выступающие вершины и резкие впадины на поверхности являются концентраторами напряжения, а развитие трещин начинается в большинстве случаев от пиков микро неровностей.

2. Выбор и приготовление клея.

Для производственных условий удобнее выбирать однокомпонентные клеи, которые приготовлены производителем клея.

Многокомпонентные клеи приходится готовить непосредственно перед сборкой. Их преимущество – длительный срок хранения в несмешанном состоянии. После соединения компонентов жизнеспособность клея ограничена.

При выборе клея необходимо учитывать его физико-химические характеристики. Клей в отвержденном состоянии по своим характеристикам должен приближаться к характеристикам склеиваемых материалов. За критерии оценки принято брать модуль упругости клея и коэффициент термического расширения.

При работе в условиях изменяющихся температур важна теплопроводность клея, т.к. при недостаточной теплопроводности в клеевом шве образуются термические трещины. Большинство клеев имеют коэффициент теплопроводности 0,1..0,3 Вт/(м·к), при добавлении наполнителей (мелкодисперсная пудра из Al, нитрида бора, переработанного асбеста, двуокиси титана и др.) можно повысить до 2,5 Вт/(м·к). Количество наполнителя может быть до 40% общей массы.

Если склеиваемые материалы различны по своим физико-механическим показателям, необходимо выбрать клей, снижающий эти различия.

Между клеем и металлом должна быть совместимость не вызывать коррозию. Наполнитель не должен образовывать с металлом гальванических пар.

Для уменьшения различий в физико-механических свойствах клея и металла добавляют силаны, поливиниловый спирт, адгезионные грунты и др.

Металлы не должны быть ингибитором реакций отверждения клея.

Жесткие клеи (эпоксидные, анаэробные и др.) рекомендуют использовать для соединений со статической нагрузкой, а эластичные – для соединений с динамической нагрузкой.

При выборе клея нужно учитывать:

- Условия эксплуатации соединения (вид нагрузки, рабочие температуры, активность рабочей среды и т.д.)
- Требуемые свойства соединения (теплостойкость, химическую стойкость, деформационные характеристики и т.д.)
- Совместимость склеиваемых материалов
- Способ получения соединения (t^o отверждения клея, давление при отверждении, открытая или закрытая выдержка)
- Требования к клею (цвет, вязкость, прочность, электропроводность, пластичность, теплостойкость, запах, усадка и т.д.)

3. Нанесение клея.

Зависит от состояния выбранного клея (жидкий, твердый, порошкообразный) и характеристик процесса нанесения.

Учитывается:

- Габариты склеиваемых поверхностей
- Общую оснащенность производства
- Состояние и свойство клея
- Вид получаемого соединения

Пленочные клеи нарезают ножницами, порошкообразные просеивают через сито. Используют дозаторы, распылительные системы, электростатическое нанесение. Для клеев-расплавов используют термопистолеты, установки индукционного нагрева.

При нанесении выдерживают:

- Сплошность и толщину клеевого слоя
- Равномерность нанесения по всей траектории
- Слоев может быть 1-2 и более. Сушка послойно

Основной критерий при нанесении клея – толщина клеевого соединения (≤0,01..0,15мм). Для каждого слоя она своя, изменяется она введением различных наполнителей.

4. Монтаж соединения.

Монтаж соединения с использованием оборудования для фиксации склеиваемых деталей, для достижения наибольшего контакта между деталями, вытеснения пузырьков воздуха из зоны контакта, для обеспечения нужного направления давления.

Давлением на стыкуемые детали обеспечивается толщина клеевого слоя с поверхностями стыка.

Для больших усилий используются различные струбцины, прессы, для малых – пружины, подвижные ролики, хомутики, стягивание мягкой проволокой, иногда – силой собственного веса.

5. Отверждение клея.

На отверждение клея влияет:

- Перепады температуры
- Повышенная влажность
- Атмосферная коррозия
- Завышенная скорость нагружения

Основные параметры, учитываемые при отверждении:

- Температура
- Время
- Давление

Большая группа клеев отверждается при нормальной t=20..25˚C.

Для сокращения времени:

- Использование токов высокой частоты
- Обдув собираемых узлов струей горячего воздуха, плавно увеличивая t

Охлаждение равномерно.

6. Контроль качества.

- Визуально (неответ. соединений)
- Разрушающие и неразрушающие испытания (для отв. соединений)

Неразрушающие испытания – применение радиоактивного и рентгеновского излучения, акустического и УЗ резонанса, электронной микроскопии, лазерное излучение и т.д.

Оценка по косвенным факторам:

- Наличие пустот в шве
- Напряженному состоянию шва
- Наличию посторонних включений
- Молекулярной направленности в стыке

Разрушение:

- На неравномерный отрыв для жестких и эластичных соединений
- На равномерный отрыв
- На сдвиг при растяжении и при сжатии
- На длительную динамическую и статическую нагрузку

- Ползучесть
- Теплостойкость
- Герметичность
- Долговечность

3 вида разрушения клеевого соединения.

1) Адгезионное – разрушение клеевого стыка, проходящее по границе раздела клей-металл. Этот вид разрушения свидетельствует о неправильном выборе клея или недостаточной подготовке поверхности под склеивание.

2) Когезионное разрушение. Трещина проходит либо по металлу, либо по массе клея. Это свидетельствует о хорошей подготовке поверхности под склеивание, правильном выборе клея и тщательном соблюдении ТП сборки клеевого соединения.

3) Смешанное разрушение при склеивании встречается редко и характерно только для пленочных металлоконструкций. Трещина проходит произвольно через соединение металл-клей, что свидетельствует о качественном соединении материалов.

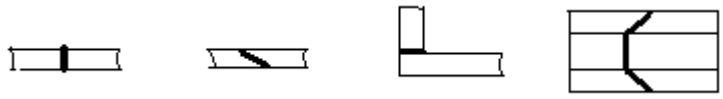
Сложность автоматизации. Продолжительность полимеризации клея (от 30 мин при горячем отверждении до нескольких часов при холодном). На АЛ необходимо предусматривать емкие накопители в виде шкафов со спиральными лотками или достаточно длинных туннельных нагревательных устройств. Используются клеи-расплавы с (0,5..10с) схватыванием.

Технологичность клеевых соединений.

1) Прочность соединения зависит от его конструкции и вида воздействующих на него нагрузок. Наибольшую прочность имеют клеевые соединения, которые работают только на отрыв и только на сдвиг.

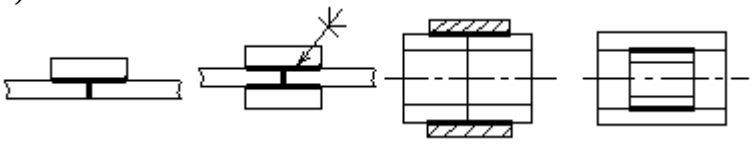
Типовые клеевые соединения:

1)

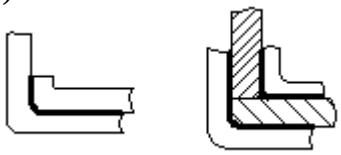


2)

3)



4)



Наиболее распространены нахлесточные соединения. Стыковые соединения применяются либо с нахлесточными соединениями, либо при склеивании больших поверхностей.

2) Клеи должны удовлетворять следующим требованиям:

- Образовывать равномерную по толщине пленку
- Обеспечивать простоту обработки поверхности перед склеиванием
- Иметь низкую температуру полимеризации
- Не выделять вредных составляющих

Выбор марки клея необходимо увязывать с конструкцией узла, требованиями к его прочности, условиями эксплуатации и технологическими возможностями предприятия.

3) В конструкции клеевого соединения необходимо предусматривать свободный 2-х сторонний подход к местам расположения клеевых швов.

4) Детали клеевых конструкций должны выдерживать температуру отверждения.

5) Зазоры между деталями, прижатыми друг к другу с оптимальным давлением до нанесения клея должны быть не более 0,1 мм.

6) Коэффициент термического расширения склеиваемых материалов и клея должны быть близки.

7) Для усиления конструкций, работающих на отрыв, целесообразно закреплять концы швов заклейками, точной или роликовой сваркой.

8) Для защиты клеевых швов от проникновения влаги заделывают кромки швов лаками, пастами или замазками.

Склепывание

Склепывание

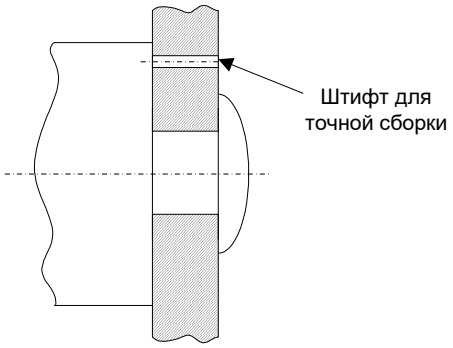
Клепаные соединения являются одним из распространённых способов соединения деталей и узлов. Например, в самолетостроении до 70 – 80% соединений заклепочных.

Клепку применяют для прочного герметичного и соединения деталей. С развитием сварки удельный вес клепки сокращается. Ее применяют в тех случаях, когда нагрев соединительных деталей нежелателен, а также при сборке деталей из разнородных материалов (сталь – чугун, метал – пластмасса и т.д.) сварка и пайка которых затруднена, а склеивание не даёт нужной прочности.

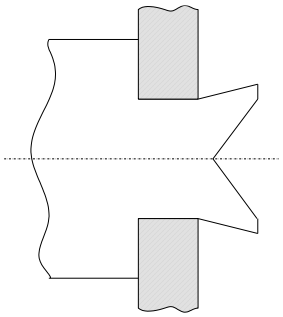
При классификации элементов клепаных соединений приняты в качестве основных классификационных признаков:

- вид и характеристика соединяемых элементов конструкции;
- вид и характеристика соединительных элементов;
- способ подготовки контактной поверхности под соединение;
- вид и характеристика шва.

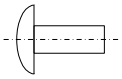
для односторонней
головку
встык
с
одной
клёпки
отверстие
накладкой
с круглой головкой
встык
с
двумя
с плоской головкой
накладками
с потайной головкой
однорядный
двухрядный
в
шахматном
порядке



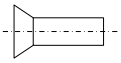
Склепыванием детали могут быть собраны непосредственно и с применением дополнительных деталей – заклепок. При непосредственном соединении на одной из деталей предусматривают цапфу, а в другой отверстие. Клепкой из выступающего конца цапфы получают замыкающую головку.

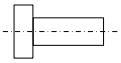


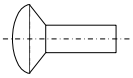
Все заклепки классифицируются по типу головок, марке материала, диаметру и длине.



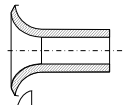
- с полукруглой головкой (обычная стержневая);

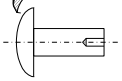

- с потайной головкой;

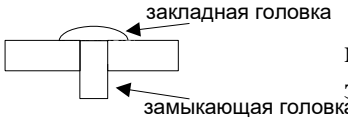

- с плоской головкой;


- с полупотайной головкой;

- трубчатая пустотелая;


- заклепка – пистон;


- специальная заклепка.



асть заклепки или цапфы детали, подлежащая расклепыванию, называется замыкающей, другая – закладной.

Материалы для заклепок:

Сталь Ст2, 08кп, 10кп,15. 15кп,20, 12Х18Н9Т,…..;

Латунь Л63;

Медь М2, М3, МТ;

Сплавы АМг5, Д18, АД1, В65, Д19П.

Покрытия заклепок:

Цинк, кадмий, оксиды, фосфатные, Cu, Zi, Ni, Ag, Sn, ...

Стандартные диаметры заклепок:

$d_з$ = 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,5; 6; 8; 10.

Диаметр отверстия под заклёпки:

$d_0 = d_з + 0.1$мм, $d_з \leq 5$мм;

$d_0 = d_з + 0.2$мм, $d_з > 5$мм.

Длина заклепок выбирается из условия:

$L = S + (1.1 \ldots 1.3)\, d_з$,

где S – толщина склепываемого пакета.

Замыкающая головка характеризуется диаметром $Д_з$ и высотой $h_г$.

Размеры замыкающей головки:

$Д_з = 1,6\, d_з$;

$h_г = 0,4\, d_з$.

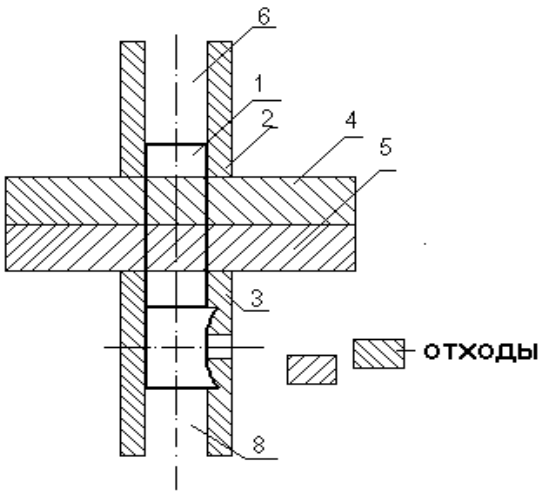
Автоматизация

Одним из первых шагов автоматического процесса клепки является оснащение клепального процесса устройством для автоматической подачи заклепок. Полную автоматизацию в этом случае будет тормозить то, что механическая трудность-совмещение отверстий склепываемых деталей.

Следующий шаг в развитии техники клепки это образование отверстий под заклепки на самом клепальном оборудовании или на позиции автоматической сборочной линии предшествующей клепальной.

В последнее время стало применяться оборудование, в котором образующиеся отверстия производились самими заклепками. Матрица пресса в этом случае имеет отверстия для прохода отхода материала после удаления. Снизу к заклепке подходит пуансон, образующий нижнюю головку заклепки. Здесь исключается возможность накопления ошибки расположения отверстий, что имеет место при предварительном сверлении.

Автомат клепки с получением отверстий самой заклепкой



1-заклепка
4,5-детали соед.
6-верхний шток
2-труба
3-матрица

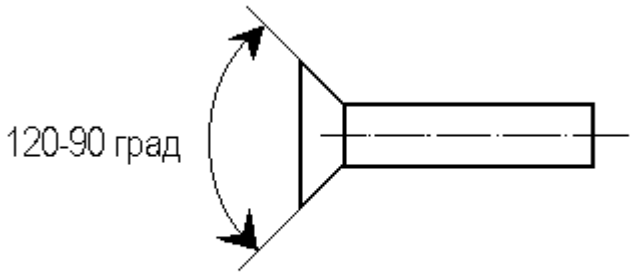
Заклепка пробивает отверстие, отходы удаляются сжатым воздухом через окно. Труба 2 и матрица 3 отходят, перед тем, как поднимается шток 8. Шток 8 поднимается формируя две плоские головки заклепки.

Клепка обычными стержневыми заклепками.

Применяется для открытых мест, где возможен двусторонний подход в зону клепки.

Изготавливают с выступающими или потайными закладными головками. Выступающие головки могут быть плоскими, полукруглыми, плосковыпуклыми.

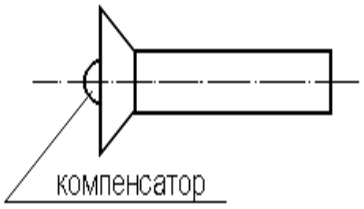
Заклепки с потайной головкой изготавливаются с углом конуса α=90 и 120 град.



ТП установки заклепок с потайными головками по сравнению с выступающими включает больше операций.

Заклепки с компенсатором (бугорок на закладной головке)

Применяются для повышения ресурса и герметичности соединения. Назначение компенсатора-улучшить заполнение зенковки при расклепывании бугорка и повысить тем самым выносливость заклепки.

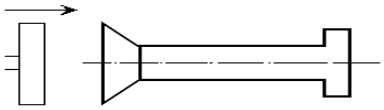


Клепка не потайными заклепками с плоской и полукруглой головкой.

Предназначена для клепки внутренних силовых и герметичных конструкций.

Клепка с потайной закладной головкой очень распространена.

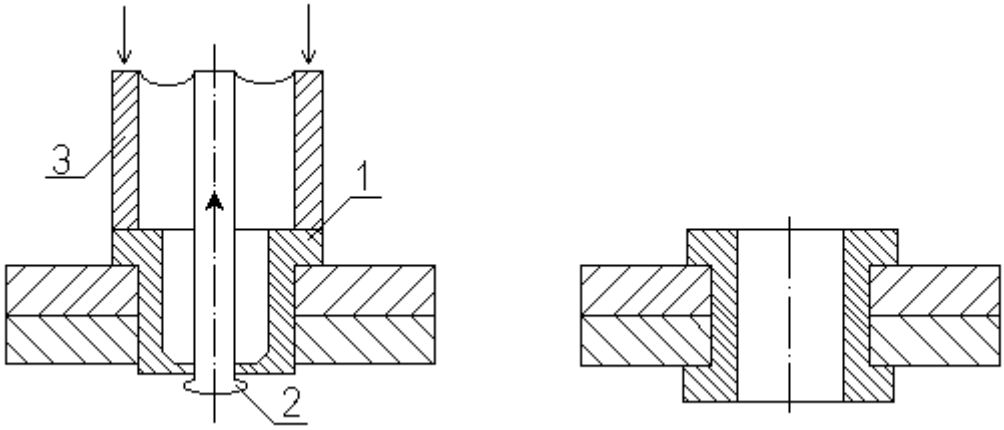
Особый способ-расклепывается потайная коническая головка, которая является замыкающей (излишки фрезеруются).



Недостаток-коробление при тонких деталях.

Клепка стержнями-когда в качестве заклепок используются стержни с одновременным расклепыванием головок с обеих сторон пакета. Эти заклепки высокоресурсны и герметичны.

Удобны для автоматизации заклепки для односторонней клепки (например: полые заклепки)



В отверстия полой заклепки устанавливают стержень 2. Заклепку со стержнем вводят в отверстие сопрягаемых деталей сверху стержень 2 захватывается пневматическим устройством, неподвижная часть 3 которого упирается в закладную головку заклепки. После протягивания стержня через заклепку на ней образуется замыкающая головка.

В зависимости от характера воздействия на стержень заклепки различают 3 способа склепывания:

-посредством удара;

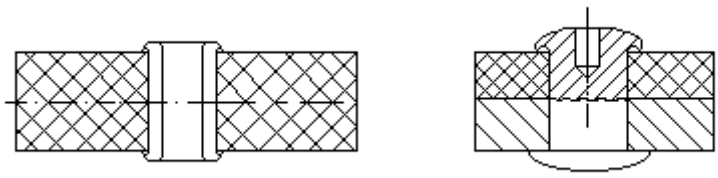
-прессование;

-развальцовка полых заклепок.

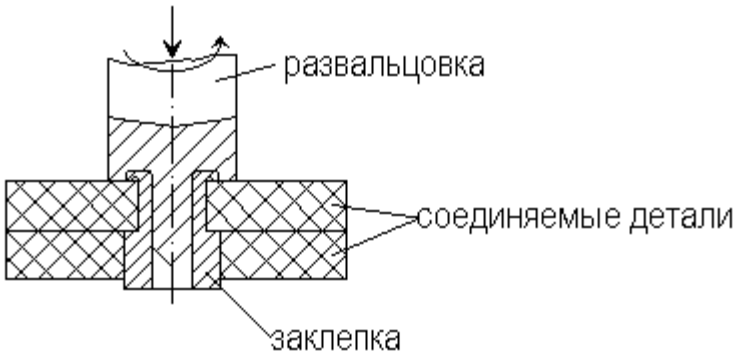
Удары наносят по замыкающей части заклепки или по закладной головке, а замыкающая головка образуется от ударов стержня о поддержки.

Чтобы замыкающей части придать правильную форму применяют обжимки, которые устанавливают на выступающую часть стержня, а удары наносят по обжимке.

Развальцовка применяется для соединения металлических деталей с тонколистовыми волокнистыми изоляционными материалами, а также деталями из керамики и пластмасс. Соединение осуществляется с помощью пустотелых заклепок:



Развальцовка полых заклепок и цапф осуществляется на сверлильных и токарных станках.



Сила для образования замыкающей головке рассчитывается по формуле:

$$P=kd^{1,75}\cdot \sigma_в^{0,75},$$

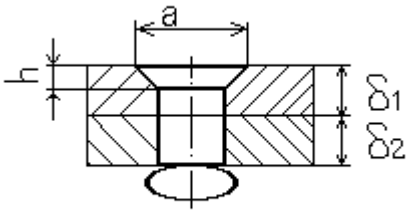
где k-коэффициент формы замыкающей головки,
стержень-28,6
потайные-26,2
плоские-15,2
d-диаметр стержня заклепки,
$\sigma_в$-предел прочности при растяжении материала заклепки (кгс/мм^2).

Образование отверстий для заклепок:
-для обычных стержневых, пробивкой или сверлением

$$\alpha_{отв.}=\alpha_{закл.}+0,1\div0,2(мм)$$

Может применяться зенковка, развертывание или протягивание (если плотная или скользкая посадка).

-под потайную головку выполняется специальное гнездо:



-штамповочный, если толщина наружной детали δ_1 и толщина внутренней детали δ_2 не более 1мм каждая (т.е. толщина пакета < d заклепки, а толщина верхней детали < высоты h закладной головки).

Штамповка может производится совместно в 2 или 3-х деталях с помощью матрицы и пуансона.

В тонком пластичном материале штамповка гнезд выполняется головками самих заклепок. Гнезда с углом конуса 120° штампуются специальным инструментом на прессах.

Перед штамповкой в деталях сверлят предварительные отверстия диаметром:

$$d_o=0,8\div0,9\cdot d_з$$

После обработки пакета деталей отверстие рассверливают дополнительно до $d_o= d_з \cdot (0,1\div0,2)$мм.

Если же гнездо штампуется самой заклепкой, то отверстие в пакете деталей сверлят окончательного диаметра.

Оборудование

-клепальные многоударные молотки для клепки стальных заклепок до $\alpha_з < 3,5$ мм и из цветных металлов и большого $\alpha_з$.
Работает от сети сжатого воздуха, при Р=5 кгс/см^2, 1,7÷1,9 тыс. ударов в минуту.
Недостаток: вибрация при работе. Для уменьшения вибрации рукоятку молотка обматывают резиной, обматывают свинцом;

-одноударные молотки в производстве РЭА не используются, т. к. очень массивны, требуют точной установки, хотя лишены вибрации и дают лучшее качество клепки;

-пневмопрессы для заклепок диаметром 3 ÷ 12 мм. Работают от магистрали сжатого воздуха, но небольшие усилия 50, 100, 200 кгс, небольшой рабочий ход инструмента (15 ÷ 25 мм);

-гидропрессы для заклепок с диаметром больше 12 мм;

-клепальные соленоидные машины с диаметром меньше 1 мм;

-ручные прессы;

Полуавтоматические и автоматические клещи используются для холодной клепки с диаметром $d_з \leq 4$мм.

Склепывание

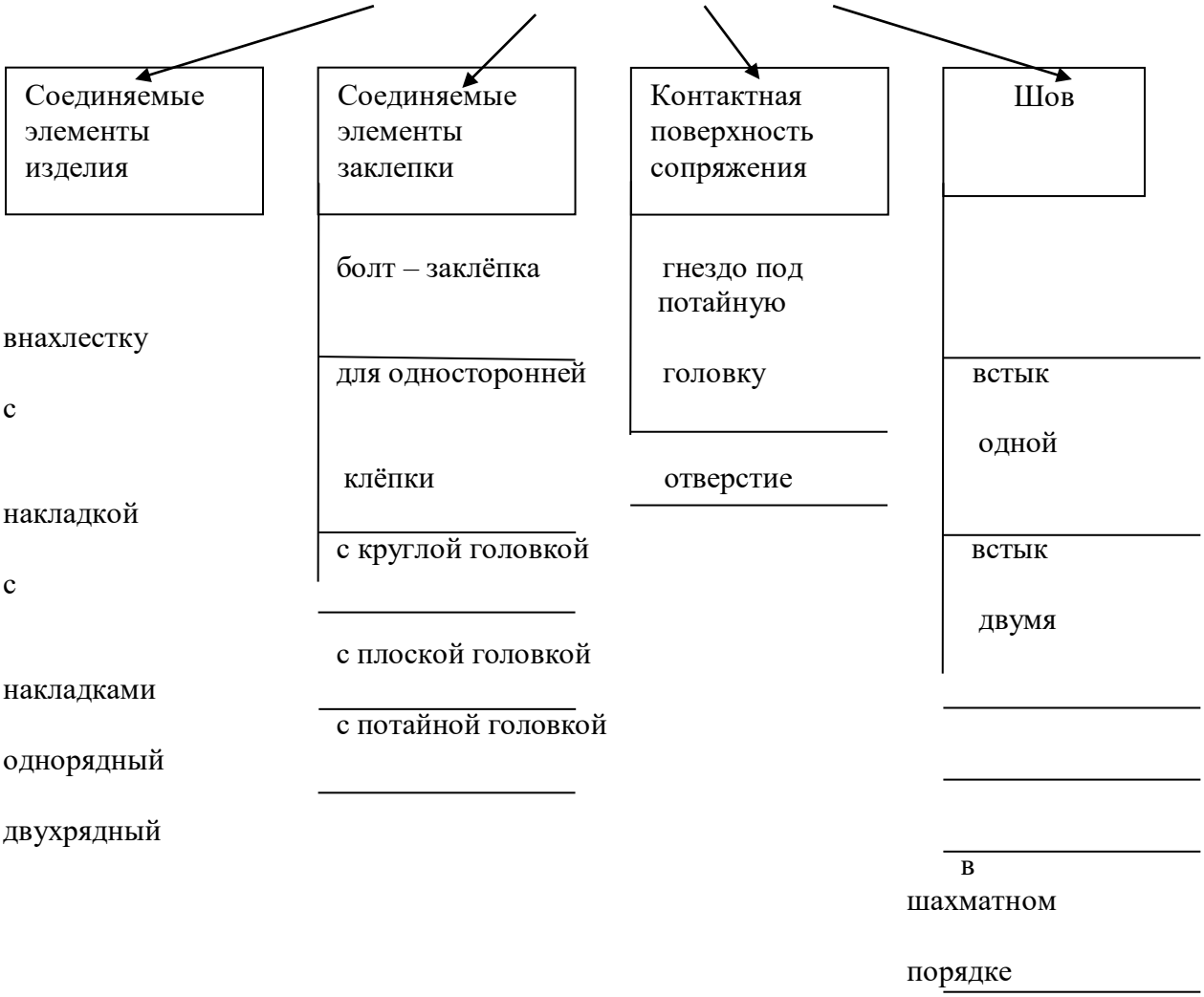
Клепаные соединения являются одним из распространённых способов соединения деталей и узлов. Например, в самолетостроении до 70 – 80% соединений заклепочных.

Клепку применяют для прочного герметичного и соединения деталей. С развитием сварки удельный вес клепки сокращается. Ее применяют в тех случаях, когда нагрев соединительных деталей нежелателен, а также при сборке деталей из разнородных материалов (сталь – чугун, метал – пластмасса и т.д.) сварка и пайка которых затруднена, а склеивание не даёт нужной прочности.

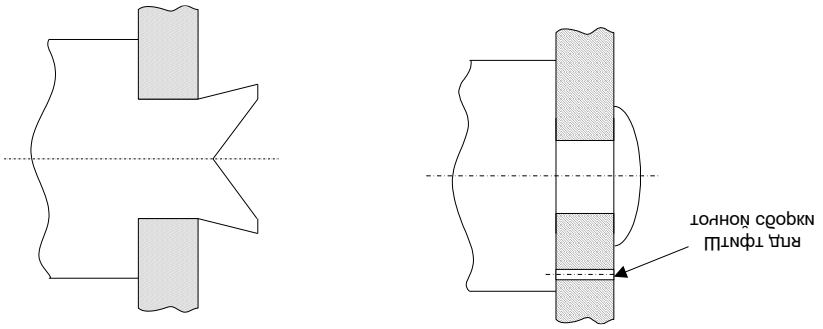
При классификации элементов клепаных соединений приняты в качестве основных классификационных признаков:

- вид и характеристика соединяемых элементов конструкции;
- вид и характеристика соединительных элементов;
- способ подготовки контактной поверхности под соединение;
- вид и характеристика шва.

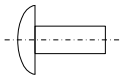
Элемент клепаного соединения

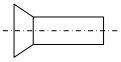


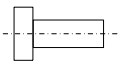
Склепыванием детали могут быть собраны непосредственно и с применением дополнительных деталей – заклепок. При непосредственном соединении на одной из деталей предусматривают цапфу, а в другой отверстие. Клепкой из выступающего конца цапфы получают замыкающую головку.

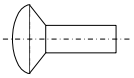


Все заклепки классифицируются по типу головок, марке материала, диаметру и длине.

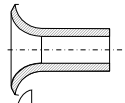
 - с полукруглой головкой (обычная стержневая);

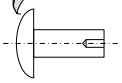
 - с потайной головкой;

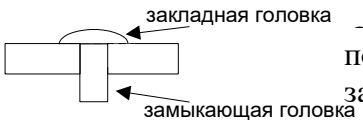
 - с плоской головкой;

 - с полупотайной головкой;

- трубчатая пустотелая;

 - заклепка – пистон;

 - специальная заклепка.



асть заклепки или цапфы детали, подлежащая расклепыванию, называется замыкающей, другая – закладной.

Материалы для заклепок:
Сталь Ст2, 08кп, 10кп,15. 15кп,20, 12Х18Н9Т,…..;
Латунь Л63;
Медь М2, М3, МТ;
Сплавы АМг5, Д18, АД1, В65, Д19П.

Покрытия заклепок:
Цинк, кадмий, оксиды, фосфатные, Cu, Zi, Ni, Ag, Sn, ...

Стандартные диаметры заклепок:
$d_з$ = 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,5; 6; 8; 10.

Диаметр отверстия под заклёпки:
$d_0 = d_з + 0.1$мм, $d_з \leq 5$мм;
$d_0 = d_з + 0.2$мм, $d_з > 5$мм.

Длина заклепок выбирается из условия:
$L = S + (1.1 \ldots 1.3)\, d_з$,
где S – толщина склепываемого пакета.

Замыкающая головка характеризуется диаметром $Д_з$ и высотой $h_г$.
Размеры замыкающей головки:
$Д_з = 1,6\, d_з$;
$h_г = 0,4\, d_з$.

Автоматизация

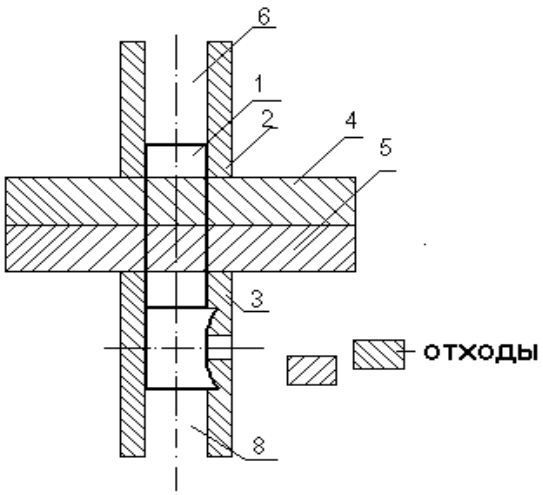
Одним из первых шагов автоматического процесса клепки является оснащение клепального процесса устройством для автоматической подачи заклепок. Полную автоматизацию в этом случае будет тормозить то, что механическая трудность-совмещение отверстий склепываемых деталей.

Следующий шаг в развитии техники клепки это образование отверстий под заклепки на самом клепальном оборудовании или на позиции автоматической сборочной линии предшествующей клепальной.

В последнее время стало применяться оборудование, в котором образующиеся отверстия производились самими заклепками. Матрица пресса в

этом случае имеет отверстия для прохода отхода материала после удаления. Снизу к заклепке подходит пуансон, образующий нижнюю головку заклепки. Здесь исключается возможность накопления ошибки расположения отверстий, что имеет место при предварительном сверлении.

Автомат клепки с получением отверстий самой заклепкой



1-заклепка
4,5-детали соед.
6-верхний шток
2-труба
3-матрица

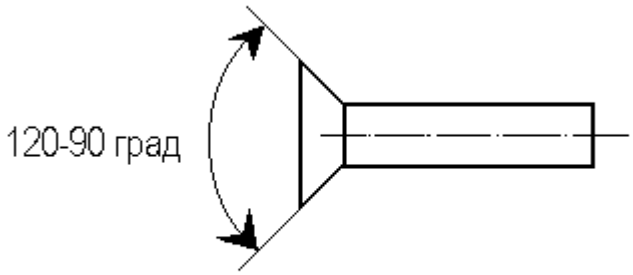
Заклепка пробивает отверстие, отходы удаляются сжатым воздухом через окно. Труба 2 и матрица 3 отходят, перед тем, как поднимается шток 8. Шток 8 поднимается формируя две плоские головки заклепки.

Клепка обычными стержневыми заклепками.

Применяется для открытых мест, где возможен двусторонний подход в зону клепки.

Изготавливают с выступающими или потайными закладными головками. Выступающие головки могут быть плоскими, полукруглыми, плосковыпуклыми.

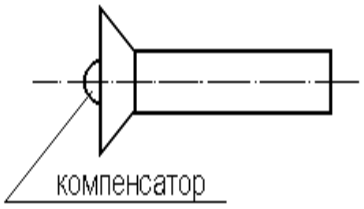
Заклепки с потайной головкой изготавливаются с углом конуса α=90 и 120 град.



ТП установки заклепок с потайными головками по сравнению с выступающими включает больше операций.

Заклепки с компенсатором (бугорок на закладной головке)

Применяются для повышения ресурса и герметичности соединения. Назначение компенсатора-улучшить заполнение зенковки при расклепывании бугорка и повысить тем самым выносливость заклепки.

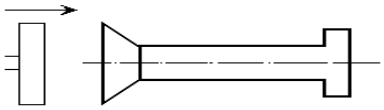


Клепка не потайными заклепками с плоской и полукруглой головкой.

Предназначена для клепки внутренних силовых и герметичных конструкций.

Клепка с потайной закладной головкой очень распространена.

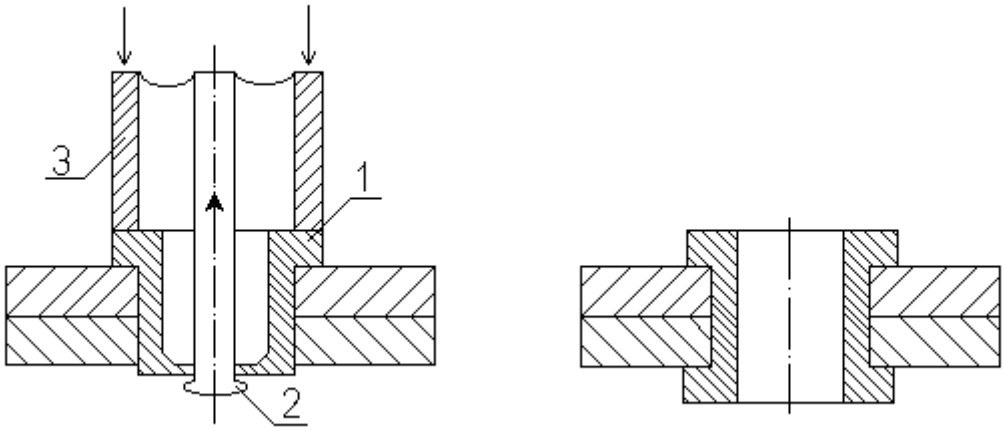
Особый способ-расклепывается потайная коническая головка, которая является замыкающей (излишки фрезеруются).



Недостаток-коробление при тонких деталях.

Клепка стержнями-когда в качестве заклепок используются стержни с одновременным расклепыванием головок с обеих сторон пакета. Эти заклепки высокоресурсны и герметичны.

Удобны для автоматизации заклепки для односторонней клепки (например: полые заклепки)



В отверстия полой заклепки устанавливают стержень 2. Заклепку со стержнем вводят в отверстие сопрягаемых деталей сверху стержень 2 захватывается пневматическим устройством, неподвижная часть 3 которого упирается в закладную головку заклепки. После протягивания стержня через заклепку на ней образуется замыкающая головка.

В зависимости от характера воздействия на стержень заклепки различают 3 способа склепывания:

-посредством удара;

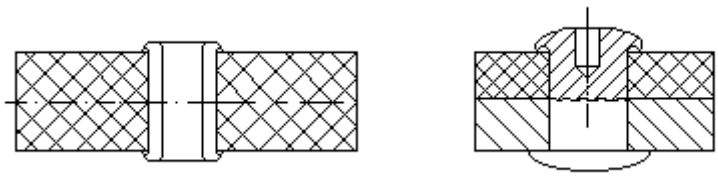
-прессование;

-развальцовка полых заклепок.

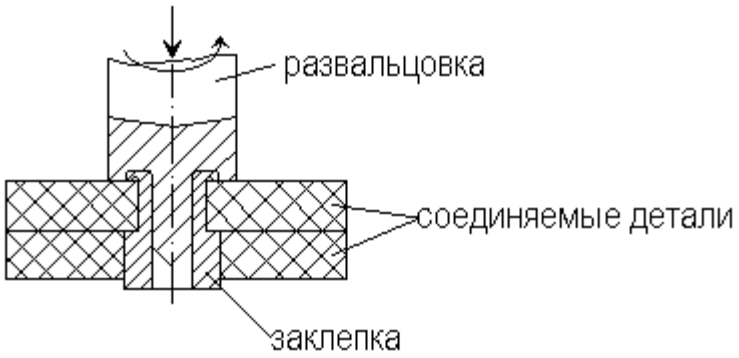
Удары наносят по замыкающей части заклепки или по закладной головке, а замыкающая головка образуется от ударов стержня о поддержки.

Чтобы замыкающей части придать правильную форму применяют обжимки, которые устанавливают на выступающую часть стержня, а удары наносят по обжимке.

Развальцовка применяется для соединения металлических деталей с тонколистовыми волокнистыми изоляционными материалами, а также деталями из керамики и пластмасс. Соединение осуществляется с помощью пустотелых заклепок:



Развальцовка полых заклепок и цапф осуществляется на сверлильных и токарных станках.



Сила для образования замыкающей головке рассчитывается по формуле:

$$P=kd^{1,75}\cdot \sigma_в^{0,75},$$

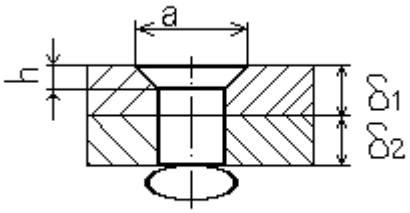
где k-коэффициент формы замыкающей головки,
стержень-28,6
потайные-26,2
плоские-15,2
d-диаметр стержня заклепки,
$\sigma_в$-предел прочности при растяжении материала заклепки (кгс/мм^2).

Образование отверстий для заклепок:
-для обычных стержневых, пробивкой или сверлением

$$\alpha_{отв.}=\alpha_{закл.}+0,1\div0,2(мм)$$

Может применяться зенковка, развертывание или протягивание (если плотная или скользкая посадка).

-под потайную головку выполняется специальное гнездо:



-штамповочный, если толщина наружной детали δ_1 и толщина внутренней детали δ_2 не более 1мм каждая (т.е. толщина пакета < d заклепки, а толщина верхней детали < высоты h закладной головки).

Штамповка может производится совместно в 2 или 3-х деталях с помощью матрицы и пуансона.

В тонком пластичном материале штамповка гнезд выполняется головками самих заклепок. Гнезда с углом конуса 120° штампуются специальным инструментом на прессах.

Перед штамповкой в деталях сверлят предварительные отверстия диаметром:

$$d_o=0,8\div0,9\cdot d_з$$

После обработки пакета деталей отверстие рассверливают дополнительно до $d_o= d_з \cdot (0,1\div0,2)$мм.

Если же гнездо штампуется самой заклепкой, то отверстие в пакете деталей сверлят окончательного диаметра.

Оборудование

-клепальные многоударные молотки для клепки стальных заклепок до $\alpha_з < 3,5$ мм и из цветных металлов и большого $\alpha_з$.
Работает от сети сжатого воздуха, при Р=5 кгс/см^2, 1,7÷1,9 тыс. ударов в минуту.
Недостаток: вибрация при работе. Для уменьшения вибрации рукоятку молотка обматывают резиной, обматывают свинцом;

-одноударные молотки в производстве РЭА не используются, т. к. очень массивны, требуют точной установки, хотя лишены вибрации и дают лучшее качество клепки;

-пневмопрессы для заклепок диаметром 3 ÷ 12 мм. Работают от магистрали сжатого воздуха, но небольшие усилия 50, 100, 200 кгс, небольшой рабочий ход инструмента (15 ÷ 25 мм);

-гидропрессы для заклепок с диаметром больше 12 мм;

-клепальные соленоидные машины с диаметром меньше 1 мм;

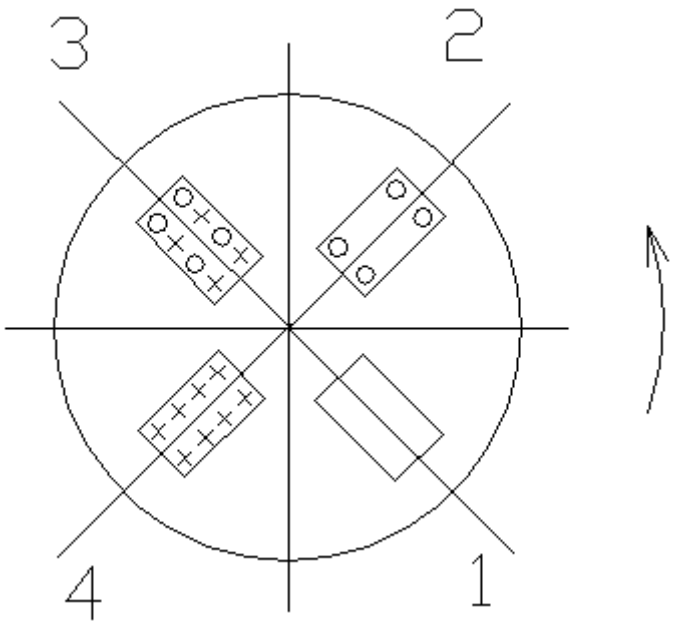
-ручные прессы;

Полуавтоматические и автоматические клещи используются для холодной клепки с диаметром $d_з \leq 4$мм.

В условиях автоматизации целесообразно использовать специальные методы клепки с малым количеством вспомогательных движений. Часто на автоматах на рабочих позициях пробивают отверстия под заклепки и устанавливают в эти отверстия заклепки и т.д.

Более простые машины с автоматической установкой заклепок в предварительно пробитые или просверленные отверстия. Такие машины выполнены с одной, двумя и большим количеством одновременно работающих рабочих головок. На машинах с одной головкой применяют передвижные приспособления для последовательной клепки всех заклепок.

Если все заклепки невозможно поставить из-за их тесного расположения, то применяют поворотные устройства. При клепке устройство поворачивается на 90°.



1 – позиция загрузочная;
2,3 – позиция клепки;
o – расположение клепальных головок;
+ - поставленные заклепки.

Рисунок 1 – Поворотное устройство

Процесс автоматической клепки состоит из следующих этапов:

1. Установка соединяемых деталей в точно ориентированное положение в сборочное приспособление автомата или полуавтоматическим манипулятором или вручную.
2. Установка заклепок в отверстия соединяемых деталей.
3. Осадка замыкающих головок заклепок с предварительным сжатием соединяемых деталей или без него.
4. Удаление собранного изделия в тару или на следующую позицию автомата.

Этапы 2 и 3 могут быть выполнены в разных вариантах. Простейший - последовательная установка и расклепывание заклепок в установленной последовательности.

Еще более производительная, но более сложна одновременная установка и расклепывание всех заклепок.

Интенсификация процессов клепки

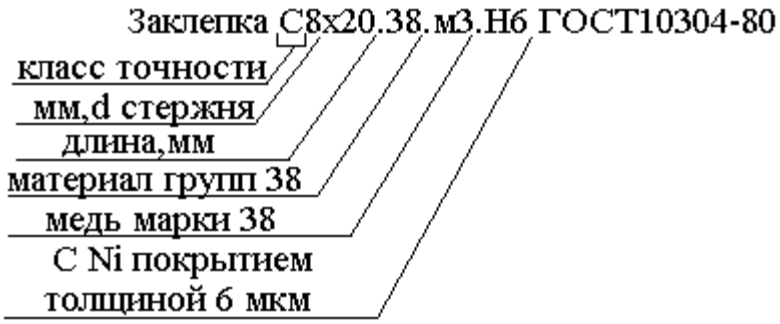
Признак	Вид клепки		
Масса инструмента	Низкоскоростная		Высокоскоростная
	Облегченным бойком	Нормальным бойком	Увеличенной массы
Характеристика процесса	Одноразовый (импульс)	Дискретный (серия ударов)	Непрерывность (прессования)
Способ повышения	С повышенной	С нагревом	С

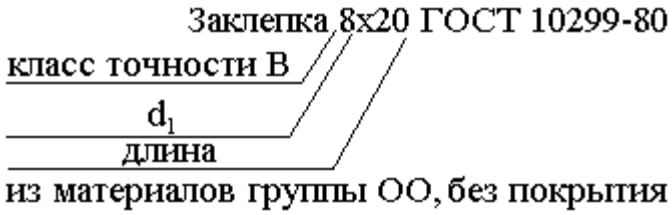
пластичности	скоростью деформации	заклепки	фиксированным нагревом заклепки (режим сверх - пластичности)

Класс точности заклепок В, С, повышенного качества для ответствен -ных соединений.

$d_з$=1,0;1,2;1,6;2,0;2,5;3,0;4,5;6;8;10

Обозначение

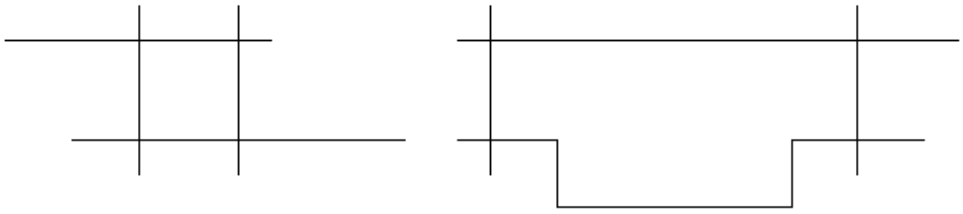




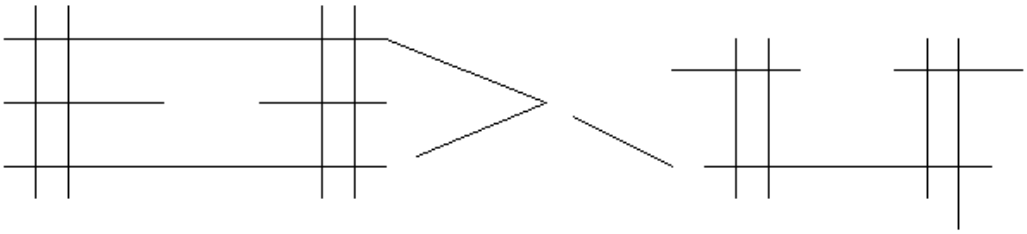
Технологичность клепаных соединений

1. Основные типы соединений

а) Соединение внахлестку

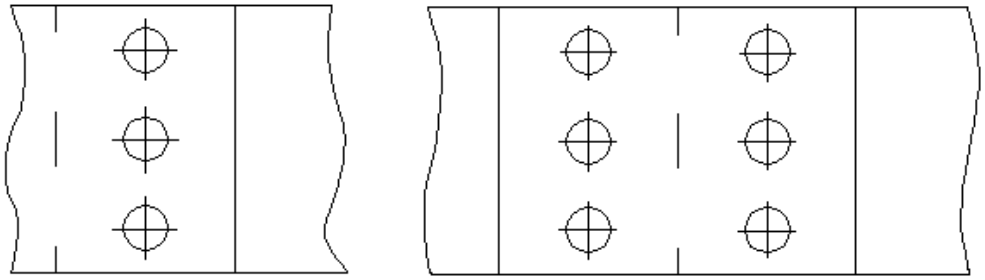


б) Соединение встык

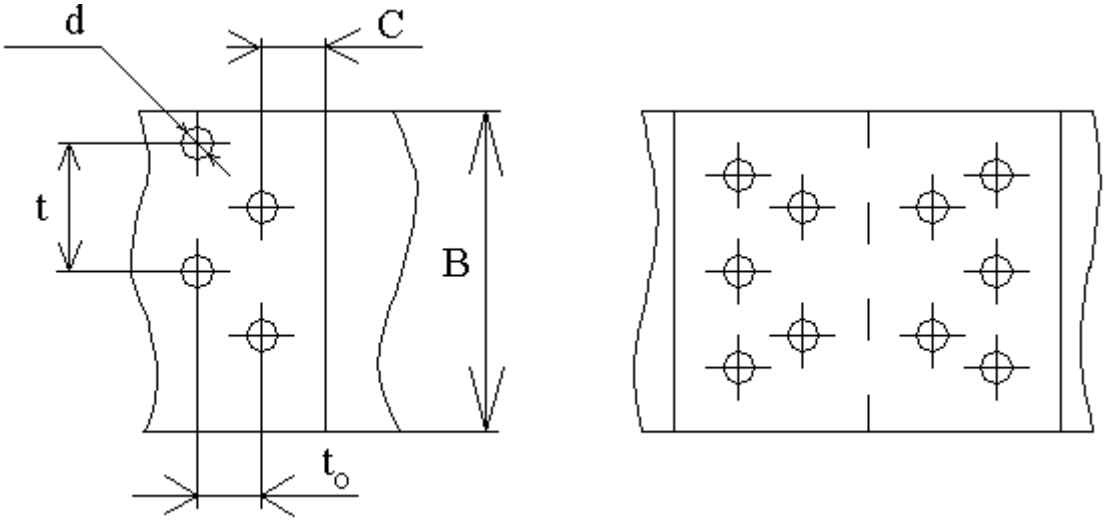


2. Расположение заклепок в швах может быть цепным и шахматным

Цепное расположение может быть однорядным, двухрядным и многорядным.



Шахматное расположение может быть двухрядным и многорядным.



d = (1.5-2) Si;
t = (3-12) d;
to = (0.5-0.8) t;
c = (1.5-4) d.

Основные конструкционные характеристики клепаного шва:

d – диаметр стержня заклепки;

t – расстояние между центрами заклепок в одном ряду (шаг заклепок);

to – расстояние между рядами заклепок;
c – расстояние от края соединенных листов;
B – ширина детали;
S – толщина накладки;
Si и Si – толщины соединенных деталей.

3 . Размещение заклепок в соединениях должны обеспечивать плотное прилегание деталей, а наличие отверстий под заклепки не должно уменьшать жесткость детали.

Для обеспечения этих требований должны выполняться следующие соотношения:

$$d = (1.5 \div 2)\ Si;$$
$$t = (3 \div 12)\ d;$$
$$to = (0.5 \div 0.8)\ t;$$
$$c = (1.5 \div 4)\ d.$$

4 . Длину стержня заклепки выбирают в зависимости от толщины соединенных деталей и длины выступающей части стержня, необходимой для образования замыкающей головки.

(0.5 ÷ 1.0) d – на образование потайной головки;
(1.25 ÷ 1.5) d – для полукруглой головки.

5 . Отверстия под заклепки должно быть строго соосны. При распо - ложении отверстий под заклепки в первый ряд допуск на межцентровое расстояние определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{d1-d}{2},$$

где d1 - ∅ отверстие;
d - ∅ заклепки .

При расположении отверстий в несколько рядов

$$\Delta = \frac{d1-d}{2\sqrt{2}} = \frac{d1-d}{2.83}$$

6 . При соединении несколькими заклепками ∅ отверстия под заклепку должно быть > ∅ стержня заклепки на 0.2; 0.3; 0.6 и т. д., в зависимости от ∅.

При соединении одной заклепкой зазор не предусматривается, d1 – d = 0.

7 .Отверстие выполнено по квалитетам 11, 13, а в отдельном случаи по квалитету 8. C Ra = 3.2…1.6 мкм.

8 .Вокруг заклепок должно быть остановлено место для подвода инструмента. Расстояние от заклепки до вертикальных стенок и других элементов конструкции, мешающих подводу инструмента определяется по формуле $l \geq (2.0 \div 2.5)\ d$.

9 . При клепке деталей из гетинакса, текстолита, эбонита, кожи и другие под головку заклепок рекомендуется прокладывать металлические шайбы.

Запрессовка

Соединения с гарантирующим натягом осуществляют на прессах или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали.

Способность прессовых соединений выдерживать передаваемые нагрузки зависит от натяга, который определяет и силу запрессовки. На величину натяга влияет шероховатость посадочных поверхностей – ее рекомендуется делать в пределах Ra = 2.5÷0.63 мкм.

Запрессовку производят ударами ручника при посадке штифтов, шпонок, заглушек. При большой силе применяют прессы.

Сборку прессовых соединений автоматизируют для небольших деталей типа втулок, пальцев, штифтов.

Сборка с тепловым воздействием повышает прочность в 1.5÷2.5 раза по сравнению со сборкой на прессе, т. к. в этом слое микронеровности не сглаживаются. Поверхности сопряжения можно обрабатывать менее тщательно. Применяют тепловые посадки для деталей, которые при сборке могут слипаться. Сборку осуществляют с общим и местным нагревом.

При автоматизируемой сборке детали нагревают в тоннельно-конвейерных нагревательных устройствах.

Прочность и относительная неподвижность неразъемных соединений деталей с натягом обеспечивается силами трения, создаваемыми давлением на сопрягаемых поверхностях и зависящих от натяга в соединениях.

Значение коэффициентов трения на посадочной поверхности зависит от:

- давление на контактных поверхностях;
- материала собираемых деталей;
- размера и профиля микронеровностей;
- наличия смазки покрытия;
- способа сборки (с помощью пресса, нагрева или охлаждения).

Повышение коэффициента трения можно добиться за счет нанесения гальванических покрытий. Применение мягких покрытий (Cd, Cu, Zn) и сборка с охлаждением повышает несущую способность в 3-4 раза по сравнению с несущей способностью соединения без покрытия, собираемого под прессом. При этом применении покрытий предохраняет контактные поверхности от коррозии и предотвращает сваривание.

Пониженная прочность соединений прессовых обусловлена тем, что при запрессовке прессом происходит слипание и срезание гребешком микронеровностей, а при сборке с охлаждением гребешки не повреждаются и после нагрева заходят в углубления микропрофиля, повышая тем самым прочность сцепления.

Используется для деталей из твердых и пластичных материалов.

Чем тверже материал детали, тем меньше потребуется натяг, тем, следовательно, должен быть выше класс точности.

Детали могут иметь гладкие поверхности или специальную накатку. Накатка (рельеф) на валу делается в том случаи, его материал более твердый, чем материал, с которым он соединяется. Если материал вала более мягкий, накатка может быть в отверстии (но это трудно).

Более прочные соединения – при гладких поверхностях.

Часто используют для соединения металлических деталей и неметаллы, то прочность соединений зависит, главным образом, от свойств неметалла.

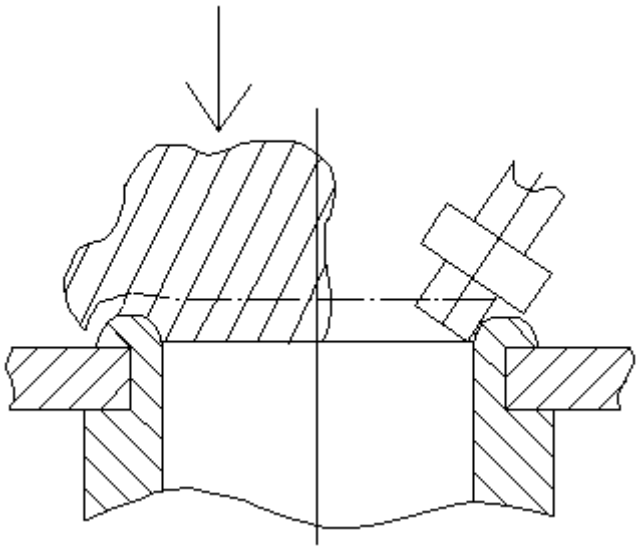
С гетинаксом (предварительный t° = 120° С нагрев).

Охватываемые детали при сборке пропускают через холодильные установки.

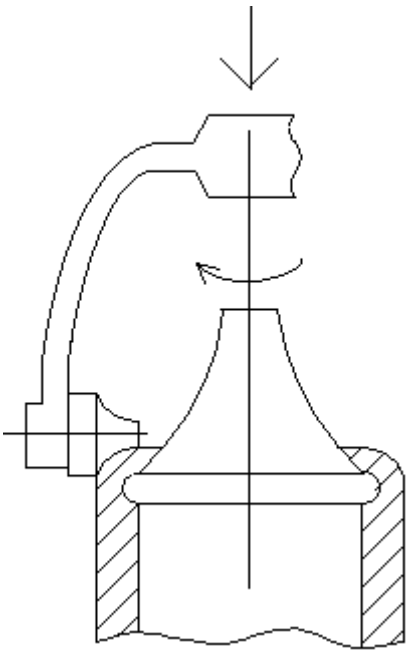
Для лучшего направления деталей на сопрягаемых поверхностях предусматривают фаски или цилиндрические пояски и применяют специальные приспособления.

Сборка методом пластической деформации

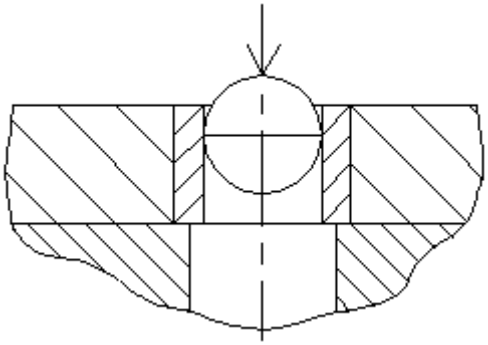
Широко используется. Деформации подвергается одна (реже 2) из соединяемых деталей, выполняемая из листа, трубы, полосы или проволоки. Отбортовка роликовой вальцовкой или на прессе обжимкой.



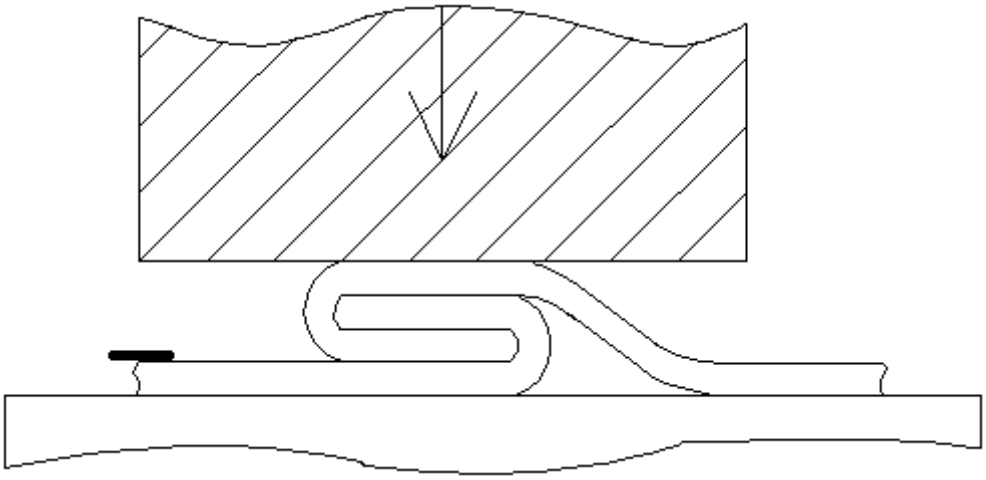
Завальцовывание роликовой вальцовкой.



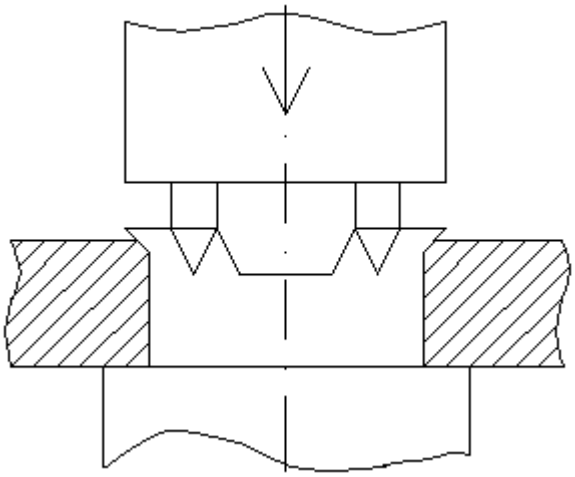
Дорнование втулки шариком или оправкой в целях повышения плотности ее посадки в отверстии (Протягивание вальцовки).



Соединение в фальц.



Кернение.



Вальцованные соединения

Закрепление двух сопряженных деталей выполняют путем расширениям охватываемой или сжатием охватывающей детали. Силовое замыкание обеспечивается остаточной деформацией деталей, изготовляемых из пластичных материалов.

Применяется:

- когда нагрев соединяемых деталей нежелателен;
- при сборке деталей из разнородных материалов, сварка пайка которых затруднена;
- при скреплении в один пакет большого числа деталей;
- в трубчатых конструкциях, работающих под действием ударных и вибрационных нагрузок;
- при высоком требовании к надежности скрепления соединяемых деталей.

Существуют различные схемы вальцевание деталей:

- вальцовка может быть закреплена в шпинделе сверлильного станка;
- роликовые вальцовки;
- конические ролики;
- шариковые вальцовки;
- протягиванием вальцовки;
- магнитно-импульсное обжатие.

Применяются ручные, механические, автоматические головки, устройства, станки, приспособления.

Соединения подобного рода под действием вибраций могут разбалты-
ваться, под действием перепадов t°, со временем заметно теряют прочность, что может вызвать переменный контакт. Используются часто как дополнение к другим видам соединений (сварка, пайка).

Фальц – для тонколистовых деталей толщиной до 0.8 мм. Размер нахлест-
ки $l = (8\text{-}10)\ S$, но ≥ 2.5 мм.

Шплинты – когда допустима небольшая подвижность соединяемых дета-лей, т. к. шплинты устанавливаются в отверстия с зазором. Зазоры позволя

ют компенсировать t° деформации деталей, выполненных из материалов с различными коэффициентами линейного расширения.

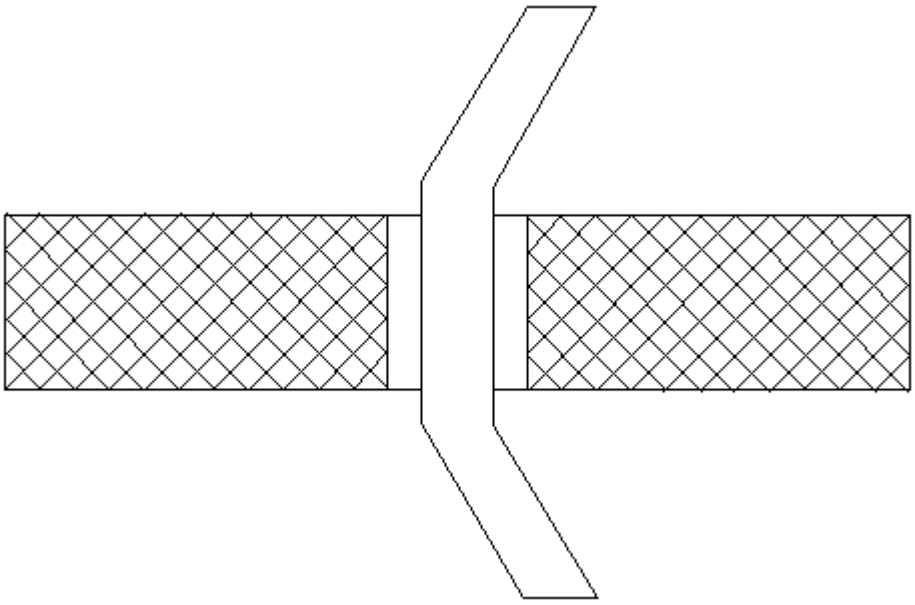
Нетифты:

- соединительные – для разъемного соединения деталей и заменяющие в некоторых конструкциях крепежные резьбовые детали;
- установочные – для точной фиксации относительно положения деталей;
- направляющие – обеспечивающие перемещение одной детали относительно другой в заданном направлении;
- предохранительные – разрушающиеся при возникновении недопустимых в конструкциях перегрузках.

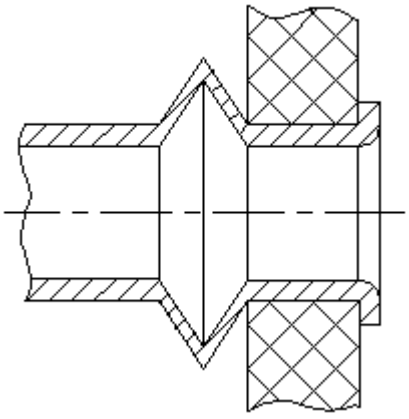
Цилиндрические и конические.

Стали, латуни, бронзы.

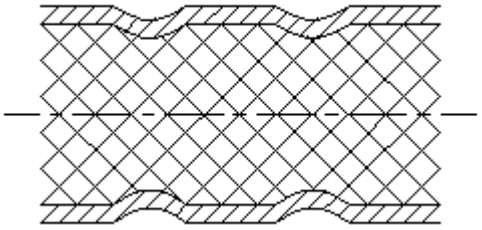
Отгибка краев деталей и лапок. Скручивание.



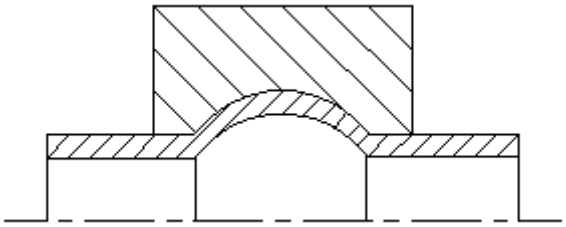
Осадка – закрепления за счет осаживания трубчатой детали.



Соединение вдавленными поясками.



Соединение выпуклым пояском.



Заформовка – неразъемное соединение деталей с помощью материала, который предварительно находился в жидком или пластическом, а после перехода в твердое состояние охватывает находящиеся в нем детали, образуя единое целое.

Эти соединения удобны для автоматизации, т.к. в них нет специально скрепляющих деталей, соединения выполняют простыми по кинематике движениями инструмента (поступательное, поступательное и вращательное).

Качество соединения обеспечивается путем контроля за режимом рабо
ты оборудования.

В настоящие время эти методы совершенствуются и ищут новые, пригод
ные для условий автоматизации.

Резьбовые соединения – одни из самых распространённых. Это обусловлено их простотой, высокой прочностью, надёжностью, удобством сборки и разборки, наличием многообразия типовых стандартов резьбовых деталей и их взаимозаменяемость.

Резьбовые соединения образуются сопряжением двух деталей по винтовым поверхностям, из которых одна имеет наружную резьбу (болт, винт, шпилька и другие стержневые детали), а другая внутреннюю (гайка, муфта и другие детали с резьбовыми отверстиями).

Материалы стандартных резьбовых деталей:

- стали углеродистые (10, 10кп, 20, 35, 45);
- стали легированные (30ХГСА, 16ХСН);
- коррозионно-стойкие и жаропрочные стали (12Х18Н10Т, 12Х19Н9Т и другие);
- цветные сплавы (АМг5П, ЛС59-1 Л63, БрАМц9-2, Д1П, Д16П);
- возможно покрытие.

Резьбовые соединения исполняются с зазором, переходные, с натягом:

- переходные используются, когда резьба детали используется и при выполнении дополнительного заклинивания (чаще используется со шпильками).

- посадка с натягом используется для обеспечения необходимой герметичности и предотвращения само отвинчивания под действием вибрации, переменных нагрузок, изменения рабочей температуры.
- посадка с зазором упрощает сборку и разборку деталей, создает возможность нанесения антикоррозионных покрытий, повышает циклическую прочность резьбовых соединений при воздействии переменных нагрузок. Используется чаще.

Используются три вида резьбовых соединений:

- болтовые с гайками;
- резьбовыми шпильками;
- винтовые.

Винты для металла разделяются на крепежные (соединительные для скрепления деталей), и установочные (для взаимного фиксирования соединяемых деталей).

ТП состоит из нескольких этапов:

1. Установка на сборную позицию и взаимная ориентация сопрягаемых деталей изделия.
2. Подача и наживление (наживление трудно автоматизировать, часто осуществляется вручную).
3. Навертывание на основную часть резьбы.
4. Затяжка с заданным натягом.

Выполнение сборки резьбовых соединений требует осуществления поступательного и вращательного сборочных движений, преимущественно путем приложения к собираемым деталям внешнего крутящего момента, ударно- вращательных импульсов, осевых сил.

Эффективность автоматизации сборки резьбовых соединений определяется:

- выбором прогрессивных способов сборки, определяемых прямыми методами силового воздействия на собираемые детали;
- способами базирования и относительного ориентирования деталей;
- уровнем автоматизации процесса сборки.

В зависимости от силового воздействия на собираемые резьбовые детали при их сборке способы сборки резьбовых соединений можно разделить на:

- механические (с помощью ключа, патрона, отвертки, фрикционного диска, и т. д.);
- электромагнитные;
- пневматические;
- гидравлические…

Выбор необходимого способа зависит от:

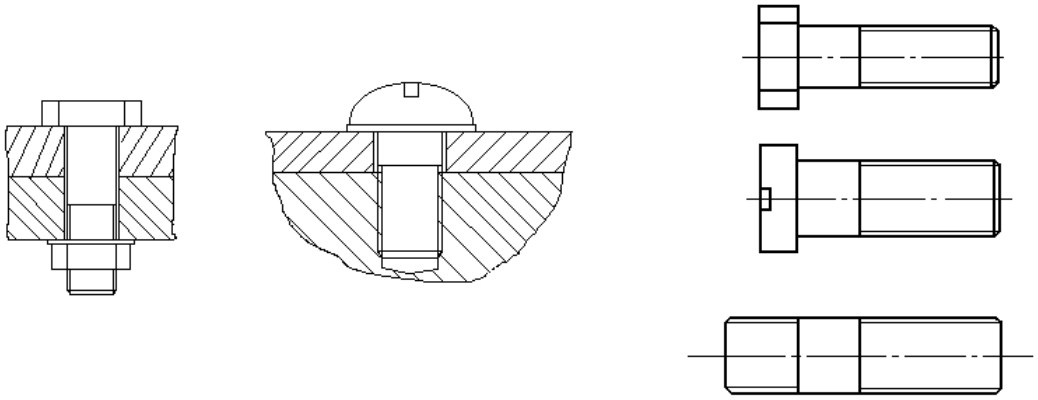
- требуемой точности соединения;
- качества;
- размеров и массы собираемых деталей;
- конструкционные особенности;
- серийности выпуска изделия.

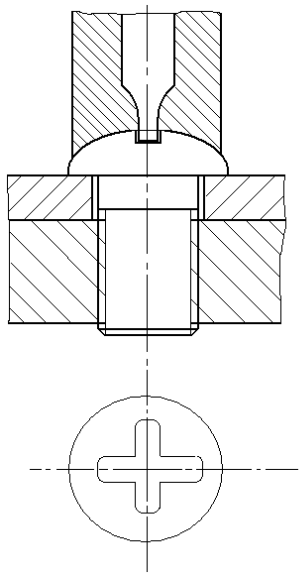
Используется автоматическое и полуавтоматическое оборудование, ручные машины и ручной сборочный инструмент.

Возможность автоматической сборки зависит от конструктивного оформления элементов резьбовых деталей. Формы головок резьбовых деталей:

- шестигранная;
- четырехгранная;
- со шлицем;
- с крестообразным шлицем.

Форма головок с наружным или внутренним шестигранником удобна для захвата торцевыми ключами и передачи крутящего момента. Ключ хорошо попадает на шестигранник и центрируется по крепежной детали. Менее удобна головка квадратной формы.





Головки со шлицами менее удобны для автоматической сборки. Шлиц полностью не центрирует отвертку. Центрируют винт обычно специальной направляющей втулкой по внешнему контуру его головки. Вращение винта за шлиц, не обеспечив передачу больших моментов из-за смятия шлица. Ширина лезвия должна быть немного меньше диаметра головки винта.

Важным условием обеспечения качества резьбовых соединений при использовании механизированного и автоматизированного оснащения является установление необходимых усилий затяжки. Величина момента, прикладываемого к винту или гайке, зависит от того, какой элемент лимитирует прочность

Соединение	Прочность	Мзат
Болтом или винтом	На растяжение	$Мзат = 0.6 \cdot от \cdot кт \cdot ки \cdot do^3 \cdot (0.03 + К\mu)$
Завинчивание резьбы в упор	Тело винта на кручение, или шлица на смятие	$Мзат = 0.0073 \cdot от \cdot ки \cdot do^3$ $Мзат = 0.085 \cdot от \cdot ки \cdot \frac{a}{do} \cdot d^3$

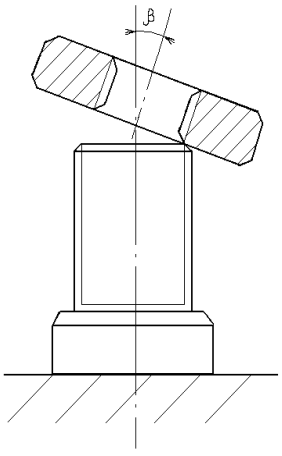
Малое число витков в соединении	На срез	$Мзат = 1.54 \cdot \frac{H}{do} \cdot от \cdot ки \cdot do^3 \cdot (0.03 + К\mu)$
Хрупких соединений	Прочность самих деталей	

σт - предел текучести материала;
kп – коэффициент приведенной прочности;
kи – коэффициент используемой прочности материала;
do – диаметр резьбы;
К – коэффициент, зависящий от конструкции соединения (тип головки винта);
μ - коэффициент трения;
Н – высота резьбы;
d – диаметр головки винта;
а – глубина шлица.

Для выполнения резьбовых соединений могут использовать инструменты с электроприводом, пневмоприводом. Инструменты снабжены сменными наконечниками. Привод расположен в корпусе инструмента. Такой ручной механизированный инструмент может работать в качестве переносного и на определённых рабочих местах. Если инструмент используется на определённом рабочем месте, то в этом случае используется облегчённый и упрощённый резьбосборочный инструмент с приводом, расположенным не в его корпусе, а вне инструмента. Движение редуктору инструмента передаётся через гибкий вал.

Захват крепёжной детали при её наживлении или затяжке производится вращающимся инструментом (торцевой ключ, отвёртка). Частота вращения до 500 об/мин. При частоте вращения шпинделем до 300 об/мин применяются открытые отвёртки, при частоте выше 300 об/мин – отвёртки с направляющими втулками.

Осевая сила нажатия инструмента при наживе должна быть небольшой, чтобы не смять первые витки и составляет для М6-М12 – 1 кгс. Для повышения надёжности захвата необходимо обеспечить минимальный зазор между крепёжной деталью и сборочным инструментом по размеру под ключ или по ширине шлица. Величина зазора (М6-М12) не менее 0,1 мм. Если зазор больше, то ухудшается попадание ключа на головку, с увеличением – растут деформации шлица или шестигранной головки.



Для обеспечения надёжности свинчивания резьбовых деталей их оси в момент наживления должны совпадать. Максимально допустимый угол перехода оси винта по отношению к оси резьбового отверстия, при котором не происходит заедания и срыва резьбы:

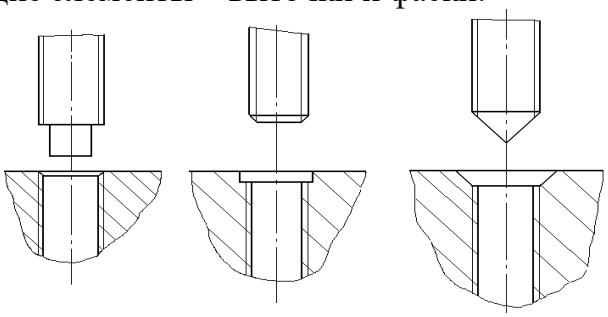
β=arctg(0.5S/d),

где S – шаг резьбы;

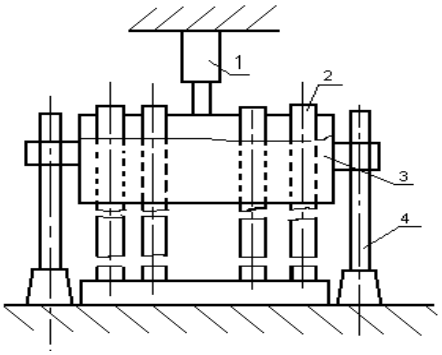
d – наружный диаметр резьбы.

Направление резьбовых деталей при их свинчивании может быть обеспечено применением направляющих втулок или питателей.

В конструкциях резьбовых деталей нужно предусмотреть свои направляющие элементы – выточки и фаски.



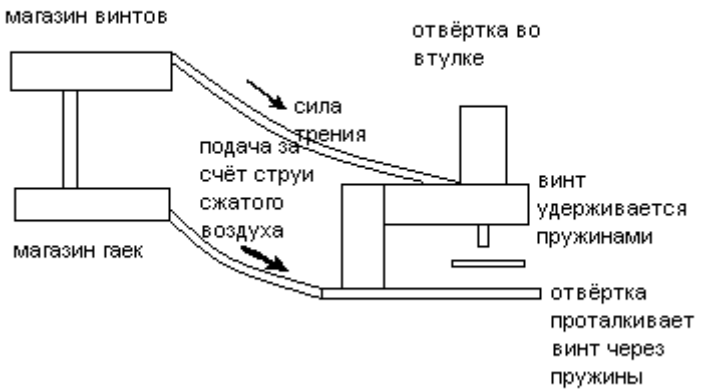
Перспективны самонарезающие (резьбообразующие) винты. При наличии заборного конуса они легко направляются гладким отверстием в начале процесса завёртывания. Их можно ставить без шайб, так как они обеспечивают хорошее стопорящее действие. Используется в соединении мягких металлов и пластмасс.



Наибольшее распространение получили устройства, компонуемые из отдельных безмуфтовых резьбозавёртывающих механизмов с индивидуальными пневмодвигателями. По внешнему виду они представляют собой цилиндрические насадки небольшого диаметра (2), из которых легко компоновать резьбозавёртывающие устройства с различным расположением осей. Посадку размещают в общем корпусе (3), перемещаемом по направляющим (4). Подводится и отводится многошпиндельное устройство от гидроцилиндра (1). Эти устройства обеспечивают наибольшую равномерность затяжки.

В групповых резьбовых соединениях затяжка осуществляется в определённой последовательности (от центра к краям), постепенно, вначале на треть или половину, затем в том же порядке – на полную величину.

Полуавтомат сборки ФУ с панелью:



Широко распространен инструмент ПГ-102, -103, -107, -109, -110, -124, -156, который является типовым одно - шпиндельным электроинструментом для сборки винтов с различными формами головки.

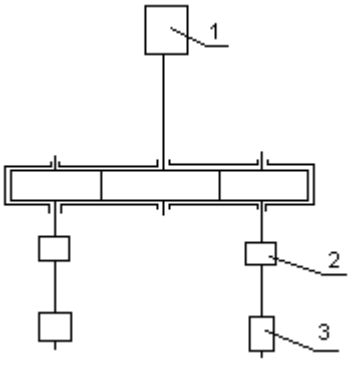
При крупносерийном и массовом производстве технологические потребности сборки иногда требует стационарных винтозавертывающих устройств горизонтального действия. Такие устройства состоят из привода, станины и самого резьбонавёртывающего инструмента.

Стремление к повышению производительности труда на сборке в условиях крупносерийного и массового производства привело к созданию в основном двухшпиндельных резьбонарезающих установок для одновременной сборки всего узла путём завинчивания одноимённых или разноимённых резьбовых деталей. Привод может быть индивидуальным для каждого из шпинделей или групповой.

Повышение производительности сборки на этапах завёртывания и затяжки резьбовых соединений обеспечивается использованием

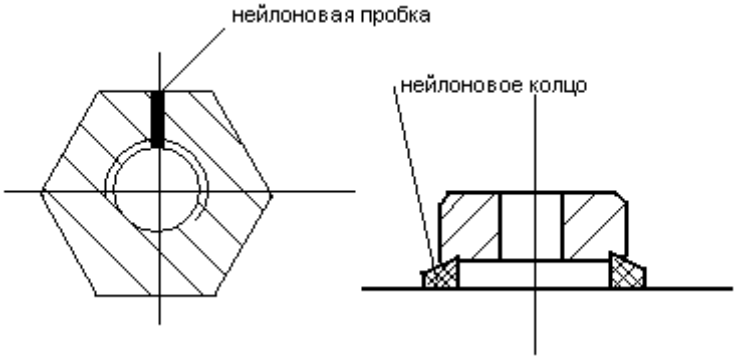
многошпиндельных устройств.

Устройство используется при сборке неответственных соединений, так как использование одной муфты не дает равномерной затяжки крепёжных деталей в групповом соединении различными шпинделями. Устройство с одним двигателем и индивидуальными муфтами на отдельных шпинделях обеспечивает более равномерную затяжку. Недостаток: большие габариты муфт, в результате чего невозможно обеспечить малые межосевые расстояния в компоновках.



Для предотвращения самопроизвольного развинчивания резьбовых соединений применяют несколько способов стопорения:

1. Стопорение наглухо производится кернением соединяемых деталей или сквозной прошивкой гайки и винта коническим или цилиндрическим штифтом, разводным шплинтом. Может использоваться установочный винт, иногда – пайка, сварка, расклёпывание, накернивание, проволочная обвязка головок болтов (винтов) и гаек через специальные просверленные отверстия.
2. Стопорение повышением сил трения в резьбе и на опорных торцах головок винтов, болтов и гаек (контргайка, пружинные шайбы, контрящие фигурные шайбы и т. д.)
3. Стопорение винтом, ввинченным в гайку, чтобы не повредить резьбу, под винт ставят сухарь из красной меди. В резьбовой части винта сверлится глухое отверстие и запрессовывается нейлоновая вставка,



которая создаёт момент трения, препятствующий самоотвинчиванию винта.

4. Стопорение резьбы соединений малых размеров (М1..М8) с помощью заливочной массы (лаки, краски, смолы, анаэробные герметики).

Установка шайб и других деталей усложняет средства автоматики. Сейчас винты и болты подают с предварительно надетыми шайбами, которые ставятся на стержень до накатывания резьбы.

При использовании резьбовых соединений следует учитывать:

- с уменьшением шага резьбы возрастают напряжения смятия и уменьшаются напряжения разрыва;
- уменьшение зазора повышает предел выносливости;
- увеличение длины свинчивания способствует повышению прочности резьбового соединения;
- не допускается работа резьбовой части деталей на срез и изгиб.