

ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИИ

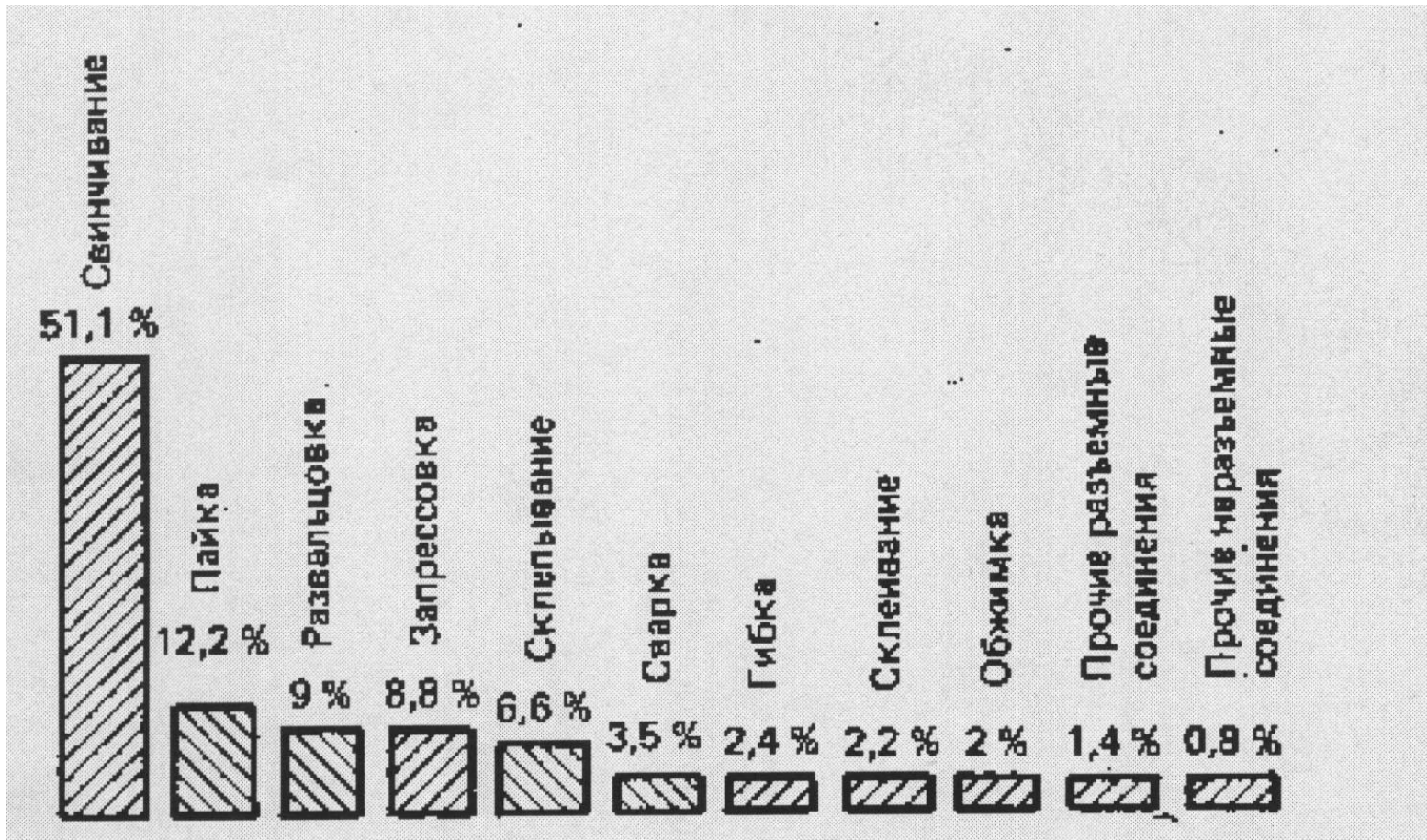
- Классификация
- Разъемные соединения.
- Технологические особенности склеивания
- Пайка механических соединений
- Конструкционная сварка
- Особенности точности при выполнении механических соединений

Классификация механических соединений

При изготовлении электронной аппаратуры наряду с электрическими широко используются механические соединения, которые разделяются на две группы:

- разъемные,
- неразъемные.

Разъемные соединения допускают полную разборку изделия на детали без разрушения их целостности. К ним относятся резьбовое, байонетное, штифтовое, шплинтовое и др. Соединение считается неразъемным, если его разборка сопровождается разрушением материалов или деталей, с помощью которых оно осуществлено.



Приведенные статистические данные показывают, что удельный, вес этих соединений в электронном аппаратостроении различен.

- *Резьбовые соединения* (свинчивание) в общем объеме занимают наибольший удельный вес, но характеризуются высокой стоимостью и трудоемкостью.
- *Склепывание* применяют для конструкций, работающих при высоких температурах и давлениях, для прочных соединений неметаллических деталей с металлами. Недостатками клепаного соединения являются: отсутствие герметичности шва, ослабление материала в месте соединения, концентрация и неравномерное распределение напряжений.

Пайка и сварка конструкционных деталей имеют те же физико-химические особенности, достоинства и недостатки, что и при выполнении монтажных соединений. Некоторые отличия заключаются в технологии: подготовке деталей, выборе материалов, режимах и оборудовании.

Склеивание применяют для соединения материалов в самых различных сочетаниях. Соединения, полученные склеиванием, обладают высокой долговечностью, коррозионной стойкостью, теплоизолирующими, звукопоглощающими, демпфирующими свойствами, герметичностью.

Технологический процесс склеивания отличается простотой, низкой себестоимостью сборки, легко может быть переведен на поточное производство. В настоящее время широко применяют Комбинированные методы неразъемных соединений – клеесварные и клееклепаные.

К недостаткам клеевых соединений следует отнести сравнительно низкую стойкость при повышенных температурах, пониженную прочность при неравномерном отрыве, дефицитность, а также токсичность многих составляющих клеевых композиций.

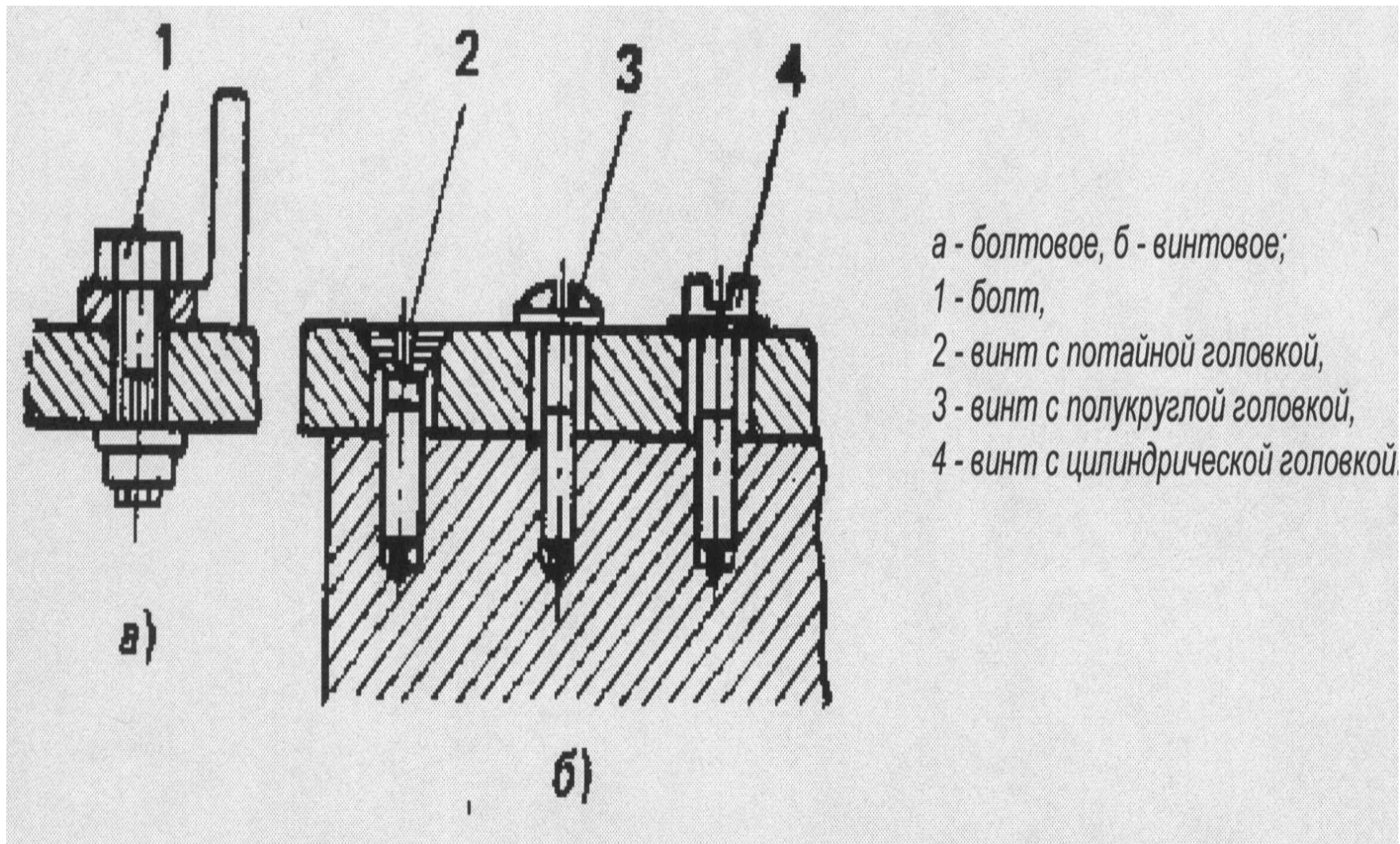
Развальцовка сопровождается возникновением в соединениях значительных деформаций, которые искажают взаимное положение деталей. Это вызывает необходимость в повышении требований к жесткости используемых приспособлений.

Разъемные механические соединения

Основным видом разъемных соединений является резьбовое, с помощью которого крепятся панели, переключатели, тумблеры, переменные резисторы, трансформаторы и др.

Для выполнения резьбовых соединений применяются ручной резьбозавертывающий инструмент, полуавтоматическое и автоматическое оборудование.

Резьбовое соединение



Резьбонавертывающий инструмент с электрическим приводом

1,2 – корпус

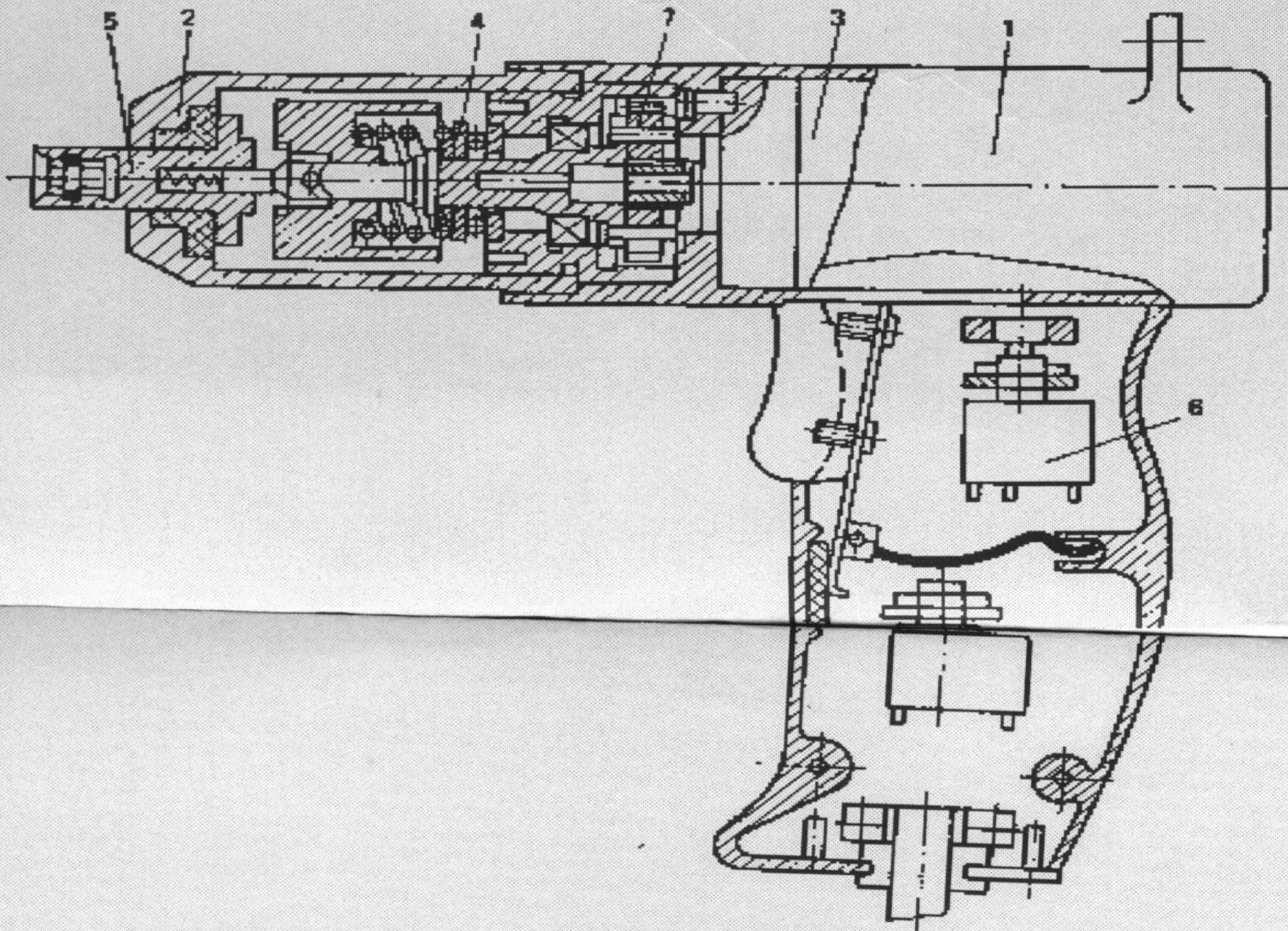
3 – электропривод

4 – муфта предельного момента

5 – вал

6 – кнопка реверса

7 – кнопка редуктора.



Важным условием обеспечения качества резьбовых соединений при работе с использованием механизированного и автоматизированного оснащения является **установление необходимого усилия затяжки**. Величина момента, прикладываемаемого к винту или гайке, зависит от того, какой элемент лимитирует прочность. При соединении винтом или болтом момент затяжки определяется их прочностью на растяжение

При завинчивании резьбы в упор момент затяжки определяется прочностью тела винта на кручение или прочностью шлица на смятие.

При соединении хрупких деталей момент затяжки лимитируется прочностью этих деталей. На основании изложенного максимальные моменты затяжки резьбовых соединений определяются из уравнений:

а) при работе на растяжение

$$M_{зат} = 0,6 \sigma_t K_p K_i d_0^3 (0,03 + K_\mu),$$

где

σ_t - предел текучести материала;

K_p - коэффициент приведенной прочности;

K_i - коэффициент использования прочности материала

$K_i = 0,4 \dots 0,5$ для часто разбираемых соединений;

$K_i = 0,7 \dots 0,8$ для неразбираемых соединений;

d_0 , - диаметр резьбы;

K - коэффициент, зависящий от конструкции соединения:

б) при работе на кручение

$$M_{зат} = 0,0073 \sigma_{тКид} d^3$$

в) при работе на срез

$$M_{зат} = 1,54 (H/d^0) \sigma_{тКид} d^3 (0,03 + K_{\mu}),$$

где ***H*** - длина сопрягаемого винтового соединения

г) исходя из прочности шлицев на смятие

$$M_{зат} = 0,0085 \sigma_{тКи} a d^3 / d^0$$

где ***a*** - глубина шлица, ***d*** - диаметр головки винта.

Для повышения надежности соединений и предохранения от самоотвинчивания применяют следующие методы:

- стопорение с помощью механических средств
- стопорение анаэробными герметиками
- стопорение краской

Стопорение с применением механических средств (кроме кернения) используется в соединениях, выполняющих крепление элементов конструкций, подвергающихся замене в процессе эксплуатации.

Контрольная краска применяется для резьбовых соединений небольшого диаметра (М1...М6) и крепления узлов конструкций, расположенных внутри блоков и подвергающихся в процессе сборки частым регулировкам.

Стопорение с помощью анаэробных герметиков является универсальным способом, обеспечивающим надежность соединений при воздействии повышенной влажности, циклических температур, вибрационных и ударных нагрузок, отвержденные герметики не влияют на полимерные материалы, не вызывают коррозии металлов и покрытий.

Технологические особенности склеивания.

Особенности процесса склеивания

Склеивание - это технологический процесс соединения изделий, осуществляемый с помощью специальных веществ, которые вследствие взаимодействия с поверхностью изделий и изменения своего физического состояния способны при определенных условиях прочно их скреплять. Соединение с помощью клеев является результатом проявления сил **адгезии, аутогезии и когезии.**

Адгезия - это явление возникновения сил молекулярного взаимодействия между полярными молекулами клея и молекулами соединяемых материалов. Процесс склеивания сопровождается не только возникновением специфических сил сцепления между **адгезивом** и **субстратом**, но и проникновением адгезива в поры склеиваемого материала и удержанием в них затвердевшего клея благодаря механическому заклиниванию.

Аутогезией называется явление прилипания поверхностей однородных материалов, например при соединении резин, термопластов.

Когезия - это явление сцепления молекул склеивающего вещества между собой в объеме тела.

Технологический процесс склеивания состоит из следующих операций:

- подготовки поверхности деталей,
- приготовления клея,
- склеивания
- контроля качества соединения.

Клеи

Применяемые в промышленности конструкционные клеи по химической природе основных компонентов разделяют на:

- терморреактивные,
- термопластичные,
- эластомеры,
- на основе неорганических соединений.

Они являются сложными системами, в состав которых кроме полимера входят пластификаторы, наполнители, стабилизаторы, антипирены, тиксотропные и другие виды добавок, которые позволяют улучшить технологические и физико-механические свойства.

Пластификаторы - это обычно труднолетучие вещества, которые обеспечивают длительную пластичность клеевым композициям, увеличивают гибкость молекул, что приводит к уменьшению хрупкости, увеличению эластичности, повышению температуры стеклования и текучести. Чаще всего в качестве пластификаторов применяют эфиры фталевой, себациновой, фосфорной кислот.

Наполнитель выполняет несколько функций: уменьшает ТКР (диоксид титана, молотый кварц, тальк), повышает теплопроводность (нитрид титана, алюминиевая пудра) и теплостойкость (диоксид циркония, асбест). Однако прочность наполненных клеевых соединений понижается.

Введение *антипиренов* придает клеям огнестойкость. К антипиренам относятся хлор- и бромсодержащие органические вещества, борат цинка и т. д.

Тиксотропные свойства, т. е. способность удерживаться на поверхности (в том числе на вертикальной), придает аэросил (коллоидная окись кремния, оксид алюминия, силикат алюминия). При необходимости в клеевые композиции вводят растворители.

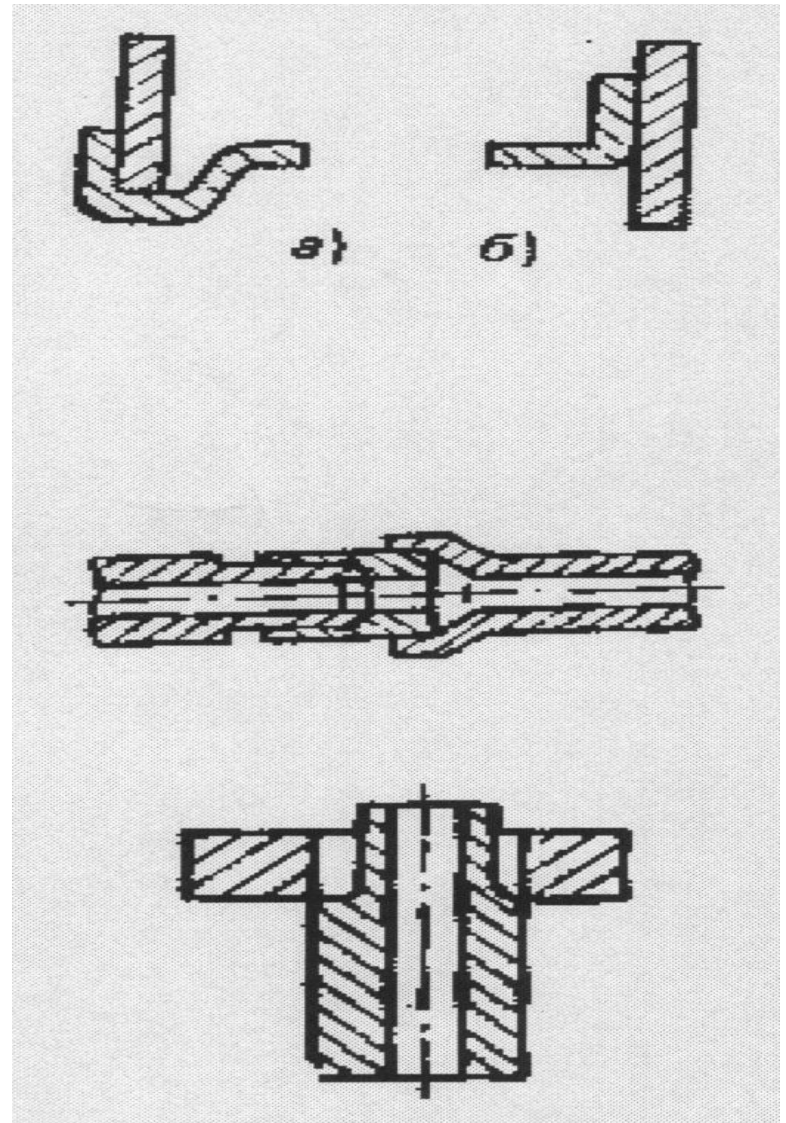
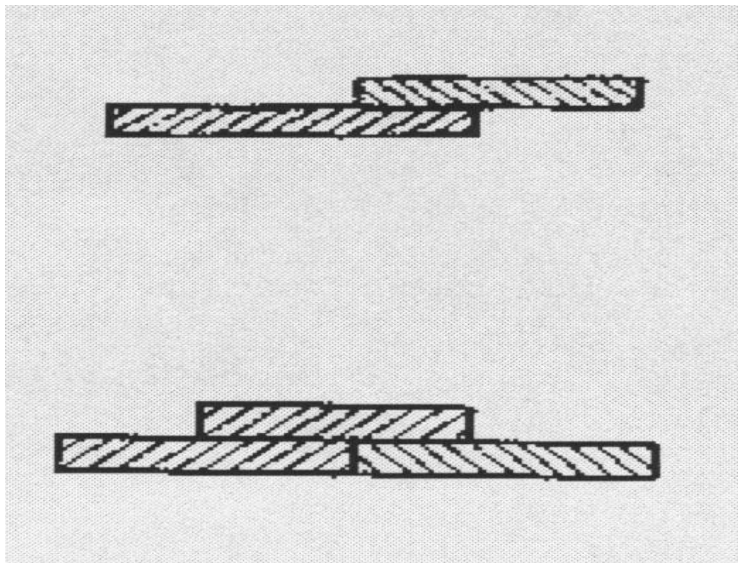
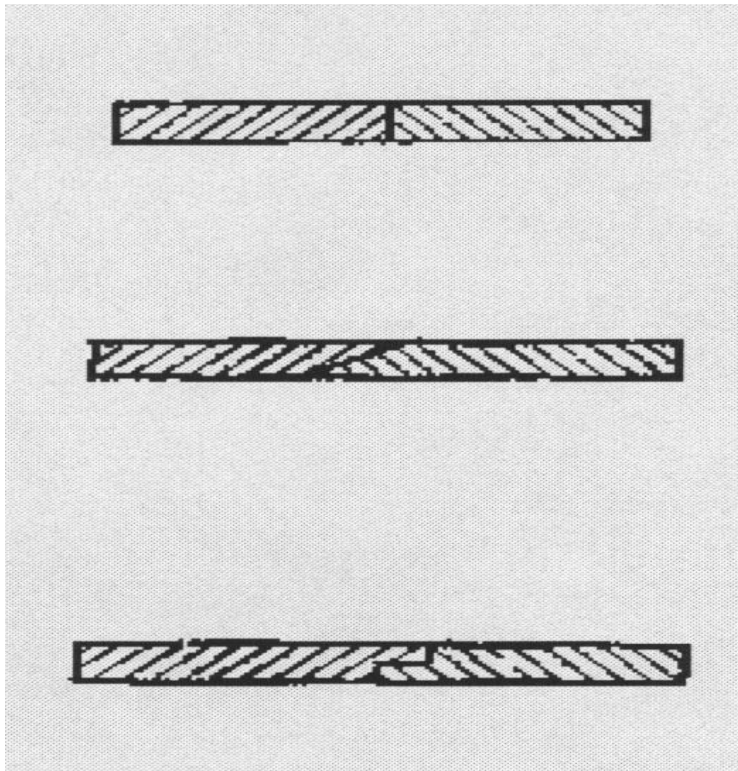
В промышленности также широко распространены анаэробные клеи-герметики, клеи-расплавы, пленочные клеи.

Анаэробными называются клеевые композиции, способные отверждаться без доступа воздуха и не содержащие растворителей. **Клеи-расплавы** представляют собой термопластичные, не содержащие растворитель композиции, которые при нагревании переходят в вязкотекучее состояние и быстро возвращаются в твердое состояние при охлаждении до комнатной температуры.

Пайка механических соединений

Конструкционная пайка выполняется низко-, средне- и высокотемпературными припоями. Низко- и среднетемпературная пайка применяется в производстве прецизионных паяных соединений, так как уменьшение нагрева существенно снижает деформацию деталей, а высокотемпературная - при изготовлении крупногабаритных конструкций, обладающих высокой механической прочностью и термостойкостью.

Технологический процесс конструктивной пайки аналогичен процессу выполнения монтажной, меняются только типы паяных соединений и повышаются требования к жесткости фиксации деталей перед выполнением соединения.



Наибольшей механической прочностью обладают соединения внахлестку и встык с накладкой, а повышенной точностью - ступенчатое. Для крепления деталей применяют штифтовое соединение, прихватку сваркой, развальцовку, отбортовку, точечное обжатие, кернение, специальные конструктивные элементы (гнезда, уступы, буртики) и т. д.

Поступающие на сборку детали должны удовлетворять требованиям технологичности и иметь в закрытых объемах отверстия диаметром 0,5... 1,5 мм для выхода воздуха и газов в процессе пайки, технологические припуски 1...2 мм на длину во фланцевых соединениях для улучшения условий формирования галтели, покрытия с хорошей паяемостью.

Пайка механических соединений.

Индукционная пайка

Индукционная пайка основана на разогреве паяемых деталей под действием электромагнитного излучения. Вследствие поверхностного эффекта тепловая энергия локализуется в тонком слое, толщина которого определяется глубиной проникновения токов ВЧ. Учитывая габаритные размеры и материал соединяемых деталей, подбирают частотный режим пайки. Для толстостенных изделий применяют низкочастотный нагрев в диапазоне 10...60 кГц, для тонкостенных - высокочастотный в диапазоне 200... 1000 МГц.

Технологической оснасткой для пайки токами ВЧ является индуктор, представляющей собой катушку, изготовленную из высокопроводящего трубчатого материала, через которую для охлаждения интенсивно прокачивается охлаждающая жидкость, а в качестве оборудования - генератор токов ВЧ.

Индукционная пайка применяется для соединения элементов СВЧ (волноводных звеньев, магнетронов, ламп бегущей и отраженной волны) при герметизации микросборок в металлических корпусах. Она позволяет производить процессы с высокой скоростью, одновременно паять несколько швов сложной пространственной конфигурации. Качество соединений повышается при проведении процесса в вакууме или среде очищенных газов (водород, азот или их смесь). Процесс легко автоматизируется и встраивается в конвейерные линии сборки. Его существенным недостатком является необходимость изготовления специальной оснастки для каждой сборки.

Пайка в печати

Пайка в печи с контролируемой атмосферой обеспечивает равномерность нагрева, точность поддержания температуры и времени выдержки, стабильность качества, легко поддается автоматизации, устраняет операции флюсования и последующей очистки. Нагрев паяемых деталей осуществляется в активной газовой среде, подвергнутой специальной очистке и осушению в инертной или в вакууме. Правильный выбор режима пайки позволяет совместить ее с последующей термообработкой соединения.

Пайка в ваннах

Пайка в ваннах с расплавленной солью применяется для сборки крупногабаритных изделий. Состав расплава подбирается таким образом, чтобы он обеспечивал требуемую температуру и оказывал флюсующее действие на соединяемые поверхности. Это в основном хлористые соединения калия, лития, натрия, бария, кальция. Собранные под пайку узлы предварительно нагревают в печи до температуры на $80...100^{\circ}\text{C}$. После выдержки в расплаве в течение $0,5...3$ мин детали вместе с приспособлением извлекают из ванны и после охлаждения тщательно промывают для удаления остатков флюса.

Конструкционная сварка.

Свариваемость материалов

Свариваемость - это свойство материала в однородной или разнородной системе под воздействием активирующей 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

$$C_{\text{экв}} = C + (Mn + Si)/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10, \%$$

где **C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, V** – соответствующие химические элементы химические элементы, %.

Свариваемость **алюминия** 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.

Свариваемость **меди** определяется ее повышенной жидкотекучестью, теплопроводностью и химической активностью, наличием примесей свинца, кислорода, серы, висмута, которые не растворяются в ней.

Свариваемость разнородных металлов определяется их диаграммой состояния, разницей ТКР, упругостью паров, температурами плавления и другими характеристиками. Наилучшей свариваемостью при прочих равных условиях обладают металлы с полной взаимной растворимостью. . При сварке металлов, образующих хрупкие интерметаллиды, необходимо ограничивать время существования жидкой фазы и ее температуру. Для преодоления трудностей, связанных со сваркой разнородных металлов, между ними применяют биметаллические переходники, компенсирующие или барьерные прокладки.

Технологичность сварных конструкций

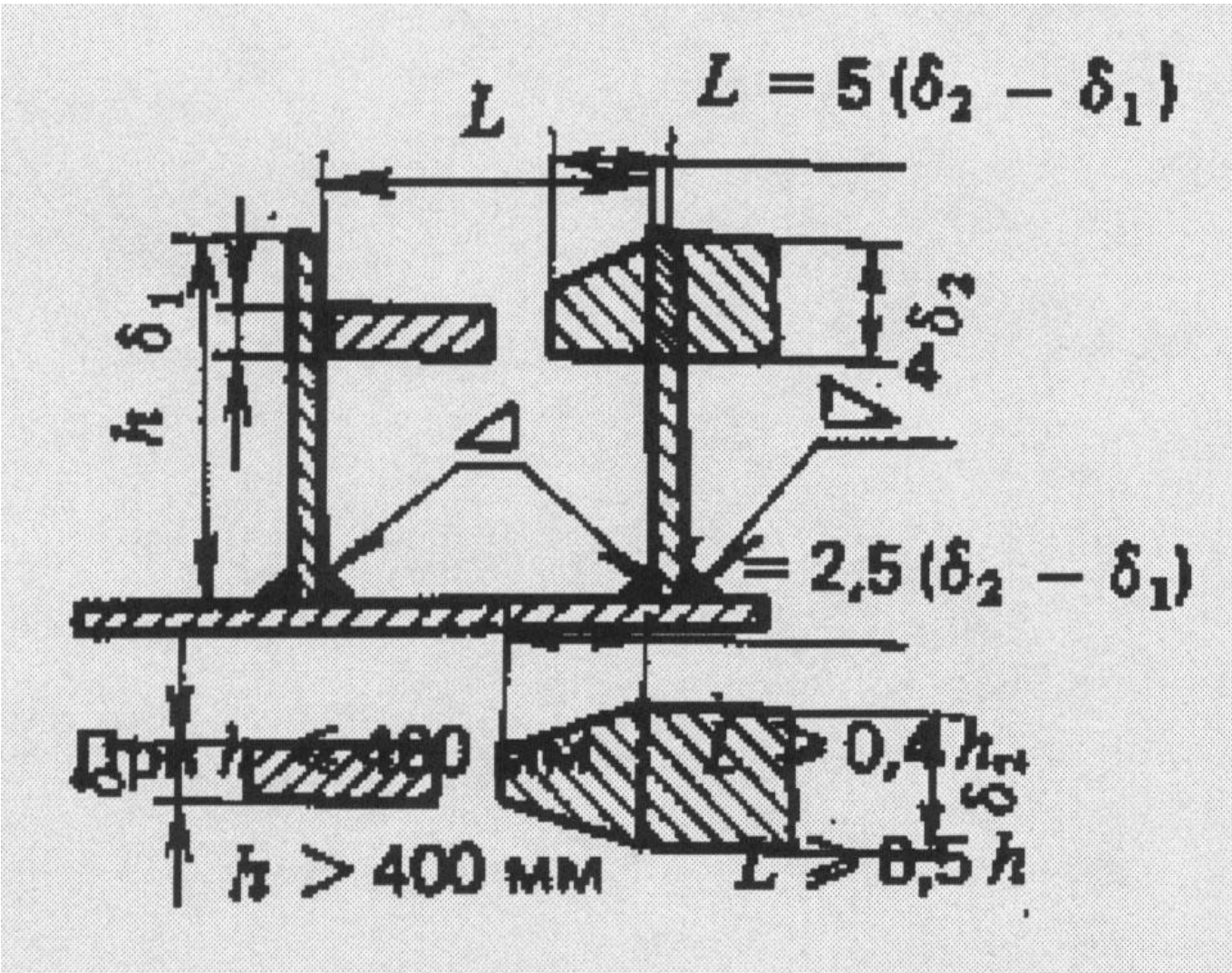
На качество сварных соединений оказывают влияние не только правильный выбор материалов, разработка оптимального варианта ТП, но и особенности конструкции соединения и всего изделия. Основные требования, предъявляемые к конструкции, следующие:

- расположение деталей должно обеспечивать свободный доступ инструмента в зону соединения;
- швы в изделии рекомендуется располагать таким образом, чтобы весь процесс сварки был выполнен в одном положении;
- стыки всех элементов желательно располагать в одной плоскости, избегая прохождения нескольких швов через одну точку;

- расстояние между параллельными швами рекомендуется выдерживать не менее 10 мм для толщины до 2 мм, а для остальных - в 4..5 раз больше толщины деталей;
- нецелесообразно располагать окна, отверстия на близком расстоянии от швов;
- рекомендуется соблюдать пропорции между высотой элементов и расстоянием между ними;
- кромки деталей под сварку необходимо разделявать.

Неравномерный нагрев деталей при сварке приводит к различным дефектам, перечень основных из которых приведен в таблице.

- ΔM – Разность диагоналей
- ΔI – Стрелка кривизны для коробчатых и двутавровых балок
- Δb – поперечный уклон балок, рам, стоек
- Δd – отклонение от вертикали боковых стенок балок
- Δc – Волнистость опоясывающих листов, балок.



Методы конструкционной сварки

Основные методы получения металлоконструкций, каркасов, рам, стоек, оснований РЭА:

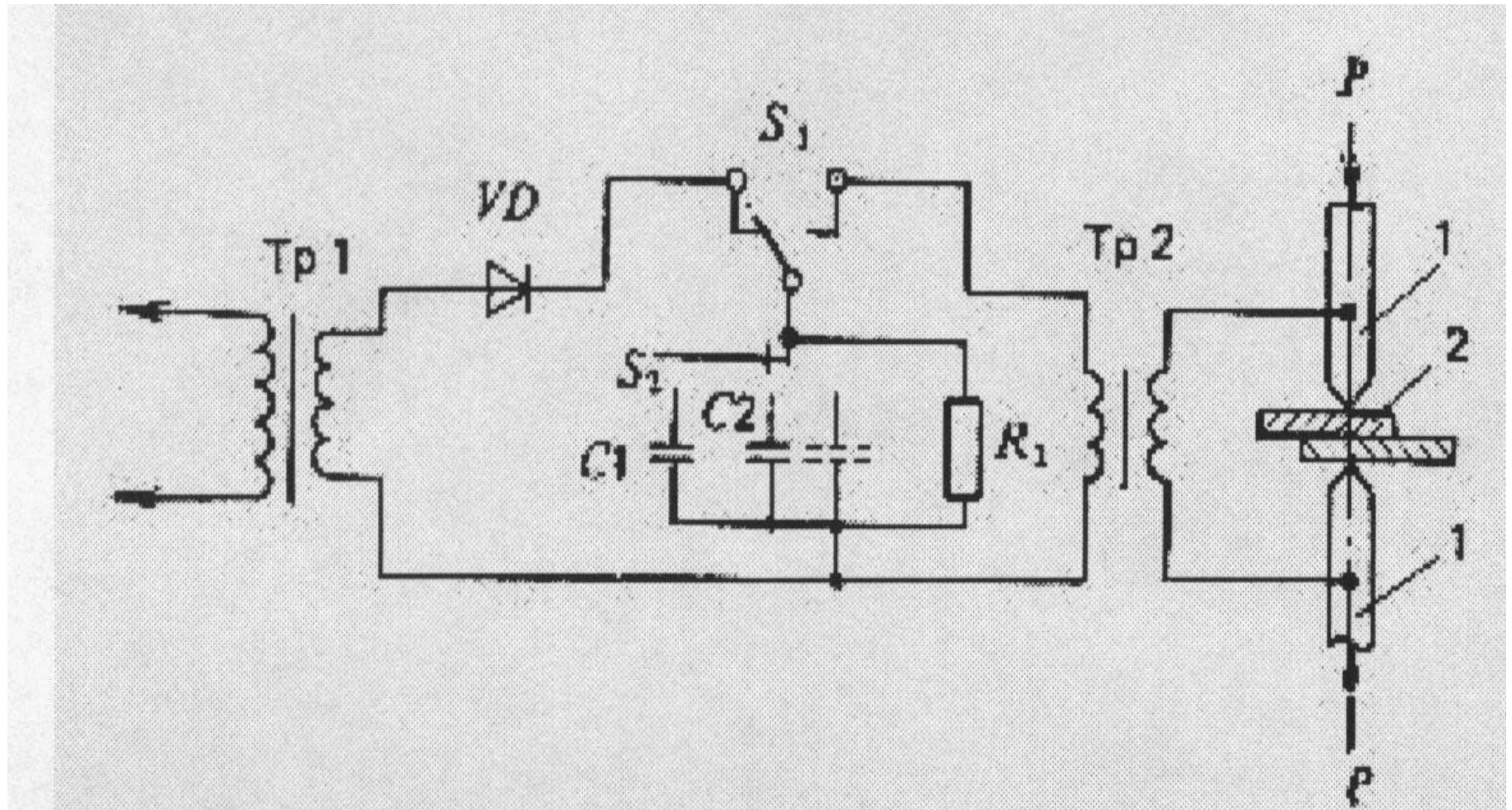
- контактная электродуговая,
- холодная,
- диффузионная
- газовая сварки.

Вне зависимости от метода для уменьшения деформации изделий детали закрепляют в приспособлении и стремятся обеспечить минимальный объем металла в сварочном шве, использовать прерывистый точечный шов, выдерживать сборочные зазоры. При изготовлении каркасов до 90 % работ выполняется контактной сваркой. Более пригодны для этого вида сварки металлы, имеющие высокие электросопротивление, пластичность и малую окисляемость, а именно: никель и его сплавы (ковар), платинит, низкоуглеродистая сталь и др.

Схема установки для контактной сварки с трансформаторной связью

трансформаторной связью

1 - электроды; 2 - свариваемые детали



На качество сварного соединения оказывают влияние энергия сварочного импульса, усилие сжатия электродов, сечение и состояние поверхности электродов, форма импульса сварочного тока. Форма импульса сварочного тока и длительность его протекания зависят от емкости сварочных конденсаторов C , напряжения их зарядки U , коэффициента трансформации K и индуктивности L и суммарного активного сопротивления контура R . В зависимости от соотношения параметров разрядного контура наблюдаются три формы импульсов сварочного тока.

Аргонодуговая сварка обеспечивает высокое качество при сварке деталей из нержавеющей сталей, алюминиевых и титановых сплавов. Основными параметрами ТП являются: сила тока, напряжение на электродах, род и полярность тока, диаметр электродов. Увеличение сварочного тока приводит к возрастанию глубины провара и применяется при повышенных толщинах деталей. Напряжение линейно связано с шириной шва и не сказывается на глубине провара. При сварке постоянным током обратной полярности глубина провара на 40 ... 50 % выше, чем при сварке током прямой полярности, и на 15... 20 % выше, чем при сварке переменным током. Использование аргона в дуговой сварке обеспечивает чистоту химического состава литого металла и создает благоприятные условия для формирования структуры шва.

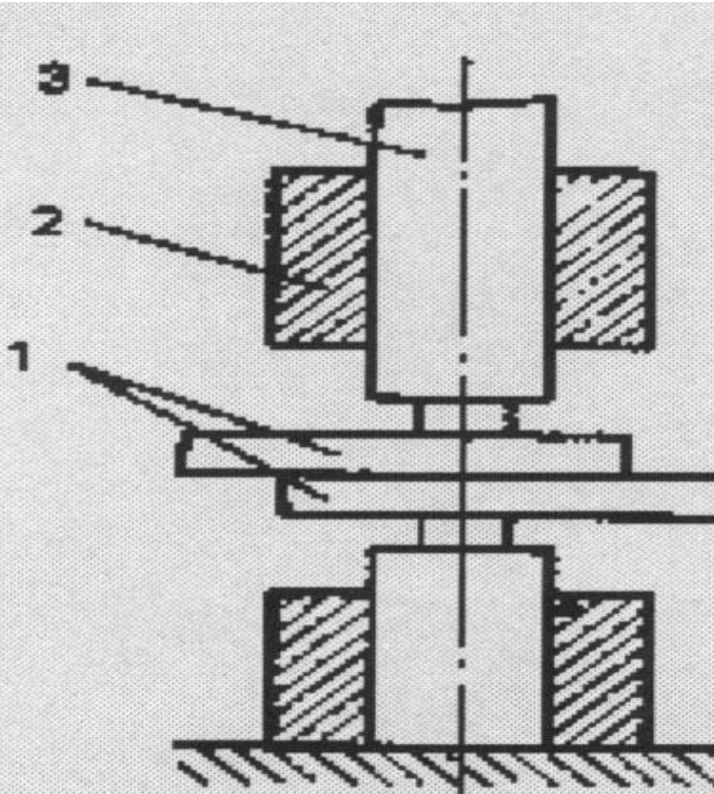
Холодная сварка осуществляется за счет пластической деформации соединяемых деталей под действием больших механических усилий. Удельное давление при соединении одноименных материалов определяется по формуле

$$P = \sigma_T (1,5 + 0,5S/h_{ост})$$

σ_T - предел текучести;

S - ширина рабочей части пуансона;

$h_{ост}$ - остаточная толщина металла.



Диффузионная сварка основана на соединении деталей в результате ползучести под действием приложенного давления в контролируемой атмосфере. Основными параметрами процесса являются температура T , давление P и время t . Метод позволяет сваривать разнородные материалы, обеспечивает высокую точность, прикладываемые усилия колеблются в пределах 5... 20 МПа. Недостатками метода являются высокая энергоемкость и низкая производительность (соединение длится 5...20 мин).

Газовая сварка применяется для сварных соединений из тонколистовой стали с целью предупреждения прожогов, для соединения деталей из легких сплавов с минимальными деформациями. В качестве горючей смеси используются ацетилен или природный газ и кислород.

Обеспечение точности при выполнении механических соединений

Механическое соединение деталей в сборочные единицы сопровождается расчетами геометрической точности, основанными на теории размерных цепей. Размерная цепь представляет собой совокупность взаимно связанных звеньев (размеров), которые образуют замкнутый контур и непосредственно участвуют в решении определенной технологической задачи. В зависимости от геометрии образованного контура размерная цепь бывает линейной, плоскостной или пространственной.

Звенья размерной цепи разделяют на замыкающее (одно на цепь) и составляющие, которые, в свою очередь, бывают увеличивающие и уменьшающие. Замыкающее звено определяется условиями поставленной задачи сборки, непосредственно не задается, а получается последним при ее решении. Номинальный размер отклонения и поле допуска замыкающего звена являются функцией соответствующих звеньев. Составляющими размерной цепи считаются звенья, функционально связанные с замыкающим и влияющие на него;

степень и направление влияния между указанными звеньями определяется передаточным отношением (коэффициентом влияния).

Составляющие звенья называются увеличивающими, если с их увеличением увеличивается замыкающее звено, и уменьшающими при обратном направлении влияния

На схемах размерных цепей звенья изображают в виде векторов, причем увеличивающие и уменьшающие звенья обозначены стрелками, направленными в разные стороны.

Основное уравнение размерной цепи составляется по ее схеме и в общем случае имеет вид:

$$A_1 \alpha_1 + A_2 \alpha_2 + \dots + A_i \alpha_i + \alpha_{\Sigma} = 0$$

где $a_1, a_2, \dots, a_i, \alpha_{\Sigma}$ - номинальные значения всех звеньев размерной цепи;

A_1, A_2, \dots, A_i - передаточные отношения составляющих звеньев на замыкающее.

Для линейных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения равны:

$A_i = 1$ - для увеличивающих составляющих звеньев;

$A_i = -1$ - для уменьшающих составляющих звеньев.

В случае двух- и трехмерных цепей с линейными звеньями передаточные отношения равны косинусу угла между направлением звеньев и направлением замыкающего звена.

Уравнение решается относительно номинального размера замыкающего звена a_g

Для расчета размерных цепей используются два метода: максимума-минимума и вероятностный. Первый метод рекомендуется применять для малозвенных цепей высокой точности и для всех цепей малой точности, когда должна быть обеспечена полная взаимозаменяемость изделий.

Достоинством метода максимума-минимума является простота выполнения расчетов, однако вследствие того, что сочетание крайних отклонений значений составляющих звеньев при сборке маловероятно, колебания замыкающего звена получаются больше действительных, а при расчете допусков на составляющие звенья по известному допуску на замыкающий размер они оказываются высокоточными.

Вероятностным методом рассчитываются размерные цепи, для которых экономически оправдан риск возможного выхода за пределы поля допуска размера замыкающего звена у части изделий. Решение получают по правилам суммирования случайных взаимозависимых величин.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ по разделу "Технология механических соединений"

1. Как выполняют и стопорят резьбовые соединения?
2. Приведите структуру ТП склеивания.
3. Какие методы применяют для пайки механических соединений?
4. Что такое свариваемость конструкционных материалов и как она влияет на структуру ТП?
5. Как обеспечивают технологичность и точность сварных конструкций?
6. Какие методы применяют для сварки механических соединений?
7. Приведите пример размерной цепи и дайте методику расчета ее точности.