

Типизация ТП сборки способствует снижению затрат на их разработку, ускорению этих разработок, а также уменьшению себестоимости изготовления изделия.

Цель типизации – стандартизировать ТПС, для того чтобы сборка одинаковых и сходных по конструкции изделий осуществлялась общими, наиболее совершенными и эффективными методами.

К типовым относятся ТП сборки типовых узлов:

- ✓ с подшипниками качения и скольжения;
- ✓ зубчатых и червячных передач;
- ✓ направляющих скольжения и т.п.

Типизация ТП сборки начинается с выполнения соединений.

СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ. ПРОДОЛЬНО-ПРЕССОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ-1

При продольно-прессовом соединении охватываемая деталь под действием осевой силы запрессовывается с натягом в охватывающую, в результате чего возникают силы трения, обеспечивающие относительную неподвижность деталей.

На рисунке приняты следующие обозначения:

- ✓ **$d, d_{отв}, D$** - номинальный диаметр, номинальный диаметр отверстия охватываемой детали, номинальный наружный диаметр охватывающей детали соответственно;
- ✓ **φ, γ** - угол фаски охватываемой и охватывающей детали;
- ✓ **$\Delta\Sigma$** - погрешность положения сопрягаемых поверхностей;
- ✓ **α** - угол перекоса сопрягаемых поверхностей;
- ✓ **δ_1, δ_2** - изменения диаметров охватываемой и охватывающей деталей.

Требуемый для данного соединения натяг устанавливают в процессе конструирования сборочной единицы при расчете посадок. Для повышения надежности, долговечности соединений и их прочности расчет ведут по максимальному натягу, определяемому по размерам охватываемой и охватывающей поверхностей.

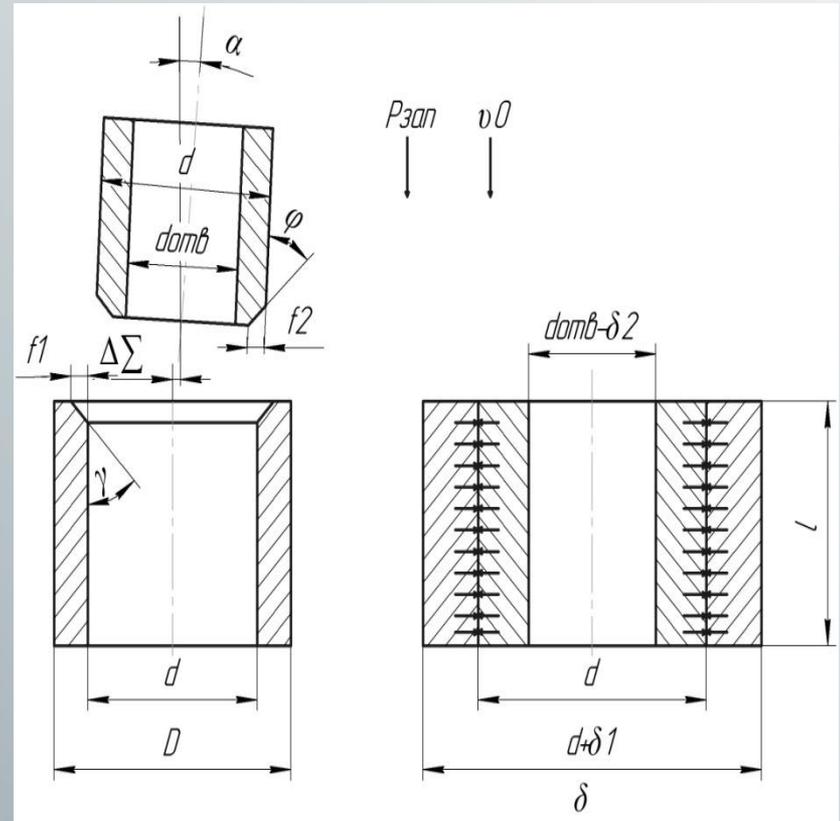


Схема продольно-прессового соединения перед началом сопряжения (а) и после выполнения сопряжения (б)

Однако смятие микронеровностей под действием давлений уменьшает натяг:

$$\delta_{\phi} = \delta - 1,2(Rz_1 - Rz_2),$$

где Rz_1, Rz_2 - шероховатость поверхностей сопрягаемых деталей. Для качественного выполнения соединения шероховатость $Rz \ll 6,3 \dots 12,5$

Для выполнения продольно-прессовых соединений, чтобы правильно выбрать пресс, необходимо рассчитать силу запрессовки:

$$P_{зап} = f p \pi d l,$$

где f - коэффициент трения при запрессовке; p - давление на поверхности контакта, МПа; d, l - параметры соединения, мм.

Давление определяют по формуле

$$p = \frac{1}{d} \left[\frac{\delta_{\phi} 10^{-3}}{C_1/E_1 + C_2/E_2} \right],$$

где C_1, C_2 - коэффициенты, зависящие от геометрии деталей и коэффициентов Пуассона;

E_1, E_2 - модули упругости материалов сопрягаемых деталей.

Коэффициенты трения зависят от материала деталей, шероховатостей сопрягаемых поверхностей, удельного давления, а также наличия смазки.

Рекомендуемые значения коэффициентов трения для ряда материалов: сталь 0,06...0,22; чугун 0,06...0,14; магниево-алюминиевые сплавы 0,02...0,07; латунь 0,05...0,1; пластмасса 0,4...0,5.

Усилие пресса выбирают по силе запрессовки:

Прочность соединения характеризуется силой выпрессовки $P_{пр} = (1,5 \dots 2,0) P_{зап}$.

Прочность продольно-прессового соединения в значительной степени определяется скоростью его выполнения. Наибольшая прочность достигается при скоростях $v < 3$ мм/с.

Не менее важным фактором, определяющим значение и стабильность силы запрессовки, является угол перекоса сопрягаемых поверхностей, который не должен превышать 30'. Для этого необходимо при запрессовке создать оптимальные углы на торцах сопрягаемых поверхностей.

Угол α 5...10°, а угол γ 20...30°.

$$\varphi \leq$$

$$\gamma \leq$$

Для лучшего центрирования сопрягаемых поверхностей необходимо делать заходные пояски (2...3 мм) или расточки по посадкам с зазором. Чтобы не допустить перекосов сопрягаемых поверхностей и некачественной сборки (снижение прочности, отсутствие торцевого контакта собираемых деталей), запрессовку проводят с применением специальной оснастки.

На рисунке показан пример центрирующей оправки для запрессовки тонкостенной втулки.

При сборке продольно-прессовых соединений происходит изменение размеров собираемых деталей, что необходимо учитывать, если указанные размеры ограничены допусками. Наружный диаметр охватывающей детали D увеличивается на величину

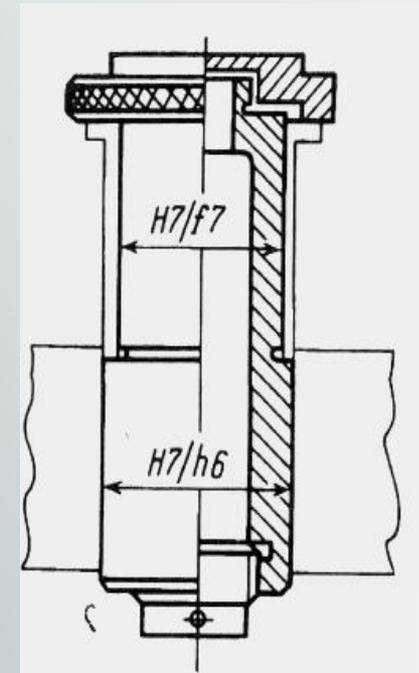
$$\delta_1 = \frac{2pd^2 D 10^3}{E_1(D^2 - d^2)}$$

внутренний диаметр охватываемой детали d уменьшается на величину

$$\delta_2 = \frac{2pd^2 d_{отв} 10^3}{E_2(d_{отв}^2 - d^2)}$$

При значительных изменениях размеров отверстий втулок после запрессовки путем развертывания или повторной расточки на станке.

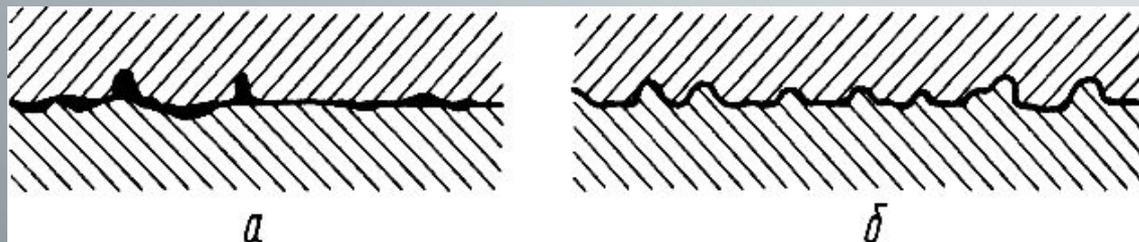
Сила запрессовки зависит от ряда переменных факторов, поэтому не может быть объективным критерием оценки прочности соединений с натягом. Однако ввиду удобства, ею чаще всего пользуются, контролируя в процессе сборки давление масла в цилиндре (на гидропрессах) или давление воздуха (на пневмопрессах). Более объективным является контроль качества продольно-прессового соединения при помощи ультразвука или звуковой эмиссии.



Приспособление, обеспечивающее требуемое положение втулки при запрессовке

В поперечно-прессовых соединениях сближение сопрягаемых поверхностей происходит радиально, т.е. нормально к поверхностям. Это осуществляется либо нагреванием охватывающей, либо охлаждением охватываемой детали перед сборкой.

В одних и тех же условиях прочность тепловых посадок при передаче крутящего момента в 2...3 раза выше, чем у продольно-прессовых соединений. Это объясняется тем, что в процессе сопряжения микронеровности сопрягаемых поверхностей не сглаживаются, а как бы сцепляются между собой, что увеличивает фактическую площадь контакта.



а – продольная запрессовка; б – тепловая сборка с охлаждением охватываемой детали

При сборке с тепловым воздействием необходимо рассчитать температуру, время нагрева или охлаждения и ряд других данных.

Для облегчения процесса сборки температурные деформации сопрягаемых деталей должны не только превышать максимальный натяг в соединении, но и создавать монтажный зазор Δ_0 , облегчающий выполнение соединений.

Максимальный $\delta_{\text{згор}}$ для диаметров 30...40 мм и

Δ_0

$$\Delta_0 = (0,0006 \dots 0,0007)d$$

для диаметров 40...100 мм.

$$\Delta_0 = (0,0007 \dots 0,001)d$$

При автоматической сборке Δ_0 не быть не менее 0,03 мм, чтобы обеспечить безотказное соединение простыми по конструкции и надежными в работе исполнительными механизмами.

При автоматической сборке соединений монтажный зазор Δ_0 должен быть не менее 0,03 мм, чтобы обеспечить безотказное соединение простыми по конструкции и надежными в работе исполнительными механизмами.

Температуру нагрева или охлаждения собираемых деталей определяют по формуле

$$t_A = \frac{(\Delta_0 + \delta)}{\alpha_l d},$$

где Δ_0, δ – монтажный зазор и максимальный натяг соединения соответственно, мм; α_l – коэффициент линейного расширения (сжатия); d – диаметр соединения, мм.

Коэффициент $\alpha_l 10^6$ при нагреве (числитель)
и охлаждении (знаменатель) $^{\circ}\text{C}^{-1}$

Материал	Коэффициенты $\alpha_l 10^6$: нагрев/охлаждение
Стали и стальное литье	11/-8,5
Серый и ковкий чугуны	10/-8
Медь	16/-14
Бронзы	17/-15
Латуни	18/-16
Алюминиевые сплавы	22/-18
Магниевые сплавы	26/-21

При перемещении детали из нагревающего или охлаждающего устройства неизбежны ее охлаждение или нагрев. Приблизительно можно считать, что эта температура составляет 25...30 °С, тогда формула принимает вид

$$t_A = \frac{(\Delta_0 + \delta)}{\alpha_l d} \pm (25 \dots 30)^0,$$

Несмотря на бесспорные преимущества, их технологические возможности ограничены рядом причин.

Обычно температуру нагрева охватывающей детали ограничивают 350° С, так как дальнейшее ее увеличение нецелесообразно, ибо ведет к снижению твердости, появлению окалины (оксидных пленок).

При значительной разнице коэффициентов линейного расширения сопрягаемых деталей нагрев в процессе сборки охватываемой детали от охватывающей может быть причиной возникновения остаточных напряжений.

Температура охлаждения ограничивается температурой хладагента: -78,5 °С для твердой углекислоты, -182,5 °С для жидкого кислорода и -195,8 °С для жидкого азота.

У сталей аустенитного класса (У7, У12, ХГ, 9ХС, ШХ15 и др.) при охлаждении до низких температур и последующем быстром нагреве аустенит переходит в мартенсит с резким увеличением объема. Эта особенность сохраняется во времени (эффект памяти формы) и может вызвать перенатяг в соединении. Например, у валов диаметром 50 мм из стали ХВГ с содержанием аустенита от 13 до 45 % увеличение диаметра составляет от 0,07 до 0,25 мм, что недопустимо, так как возникающее от натяга в сопряжении напряжение должно быть меньше предела текучести.

При использовании охлаждающих сред необходимо соблюдать меры предосторожности вследствие их токсичности и взрывоопасности.

Тепловая сборка не дает нужного эффекта, если диаметр соединения (увеличения или уменьшения размера детали недостаточно, чтобы вместо посадки с натягом получить посадку с зазором), а при необходимо подвергать тепловому воздействию обе сопрягаемые детали.

$d < 15 \text{ мм}$

$15 < d < 40 \text{ мм}$

Поэтому поперечно-прессовую сборку рекомендуется применять при диаметрах сопряжения $d > 40 \dots 50$ мм тепловым воздействием на одну из собираемых деталей. При этом необходимо учитывать, что сборка с охлаждением охватываемой детали обеспечивает прочность соединения на 10...15 % выше, чем сборка с нагревом охватывающей детали.

Применение гальванических покрытий толщиной примерно 20 мкм из таких металлов, как Рв, Zn, Си, повышает прочность соединения в 1,4..1,7 раза, так как этот слой заполняет все микронеровности и площадь контакта сопрягаемых поверхностей возрастает (оптимальная шероховатость $Ra = 2,5 \dots 3,2$). Вследствие того, что эти металлы обладают хорошими антикоррозийными свойствами, снижается фреттинг-коррозия сопрягаемых

При распрессовке таких соединений разрушение происходит по слою гальванического покрытия и основной металл не повреждается.

Увеличение прочности таких соединений позволяет уменьшить расчетный натяг на 10...30 %, что снижает напряжения растяжения и повышает усталостную прочность особенно у деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок.

Сборку как продольно-, так и поперечно-прессовых соединений достаточно легко механизировать и автоматизировать, первые как соединения с натягом, вторые – с зазором (тепловым). Причем расчет условий собираемости в последнем случае надо вести на минимальный тепловой зазор.

При автоматической сборке для нагрева охватывающих деталей вместо электропечей и масляных ванн целесообразно использовать индукционные нагревательные устройства (время нагрева до 300 °С составляет 10...12 с на каждый килограмм массы детали), позволяющие нагревать деталь прямо на сборочной позиции перед выполнением соединения.

Для автоматизации процесса охлаждения охватываемых деталей разработаны установки для поштучной выдачи охлажденных деталей прямо на сборочную позицию. В противном случае необходимо применять роботы-манипуляторы или специальные механизмы для переноса охлажденных деталей из сосудов Дьюара на сборочную позицию.

Запрессовка с вибрационно-импульсным воздействием повышает прочность соединения по сравнению с обычным способом выполнения продольно-прессового соединения. Вибрационную сборку можно проводить в трех частотных диапазонах: низкочастотном, звуковом и высокочастотном (ультразвуковом).

Частота ультразвука составляет от 20 КГц до 1 ГГц.

В зависимости от вида механических колебаний различают продольную, крутильную и комбинированную запрессовки.

При использовании вибрационной запрессовки возможно снижение статической силы в $2P_{10}$ раз, при этом прочность соединения (сила распрессовки) повышается в 1,5...2 раза.

Низкочастотная запрессовка при частотах менее 1000 Гц наиболее эффективна для сборки соединений диаметром более 20 мм с шероховатостью $Ra 1,0 \dots 1,6$

Недостатками данного метода являются громоздкость и большая масса установки, большие динамические воздействия по амплитуде, что приводит к микроповреждениям сопрягаемых поверхностей и повышенный шум.

Ультразвуковая запрессовка наиболее эффективна для сборки прецизионных соединений диаметром $d < 20$ мм, выполняемых большими натягами по посадкам по $J_{da} K_{p} N$, когда другие методы выполнения соединений с натягом неприемлемы (тепловая сборка) или не обеспечивают заданной точности (продольная запрессовка). IT4-6

Основным фактором, снижающим статическую силу запрессовки, является интенсивность ультразвуковых вибраций, зависящая от частоты амплитуды колебаний.

Под действием ультразвуковых колебаний снижение статической силы запрессовки происходит в основном вследствие уменьшения сил контактного трения и дробного характера запрессовки.

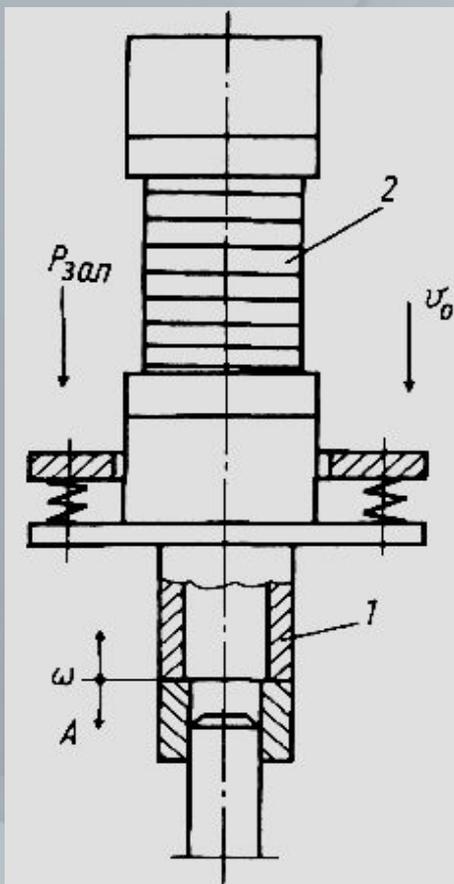


Схема ультразвуковой запрессовки:

- 1 – концентратор;
- 2 – преобразователь

Сила трения в момент импульса уменьшается из-за возникновения продольной силы :

$$P_{\text{зап}} + F_{\text{пр}} \geq fN,$$

где f – коэффициент трения; N – сила сопротивления.

Следовательно:

$$P_{\text{зап}} = fN - F_{\text{пр}} = fN \left(1 - \frac{F_{\text{пр}}}{fN} \right).$$

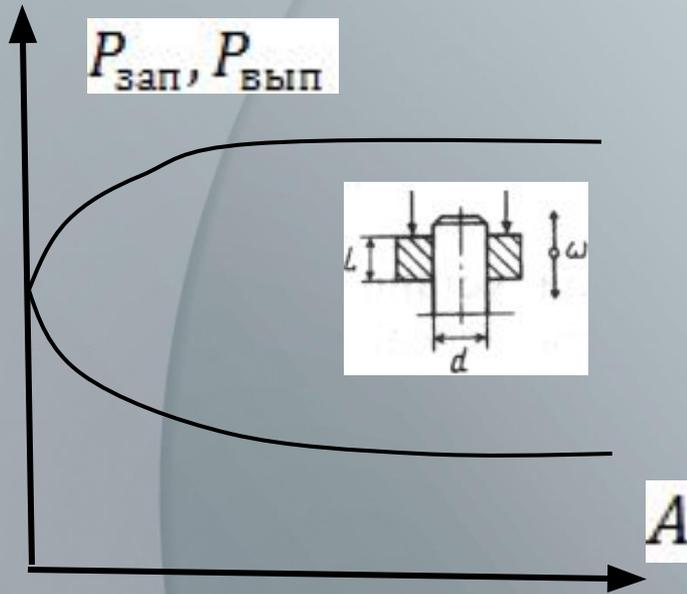
Представив эффективный коэффициент трения в момент импульса в виде

$$f^* = \frac{P_{\text{зап}}}{N}$$

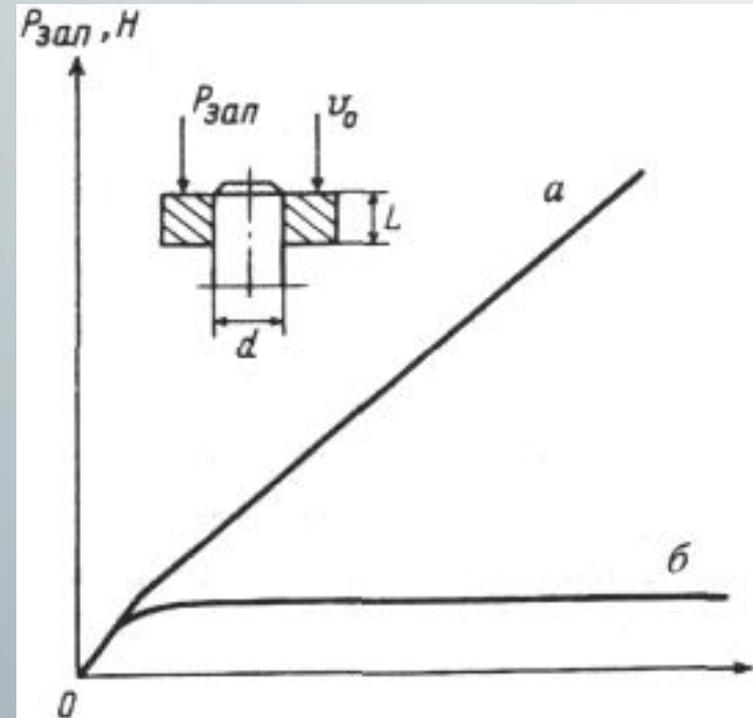
и подставив в это выражение $P_{\text{зап}}$ получим

$$f^* = f \left(1 - \frac{F_{\text{пр}}}{fN} \right).$$

Таким образом, при определенных параметрах соединения (натяге, шероховатости и шаге микронеровностей) и режимах процесса (ω, A, V_0) можно получить низкие значения сил fN и $F_{\text{пр}}$. Это снижает коэффициент трения f^* и силу $P_{\text{зап}}$.



Зависимость сил запрессовки и выпрессовки от амплитуды колебаний



Зависимость силы запрессовки от длины соединения:

- а – продольная запрессовка;
- б – ультразвуковая запрессовка

СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ, СОБИРАЕМЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИОННО-ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ-4

Коэффициент трения зависит от параметров микронеровностей сопрягаемых деталей, так как в процессе запрессовки преодолеваются их упругопластические деформации. Поскольку предел текучести металлов при динамической нагрузке выше, чем при статической, то ультразвуковая сборка соединений с малыми натягами ($\delta = 0,005...0,010$ мм) осуществляется за счет упругих деформаций микронеровностей. Это подтверждается профилограммами поверхностей детали (вала) до и после запрессовки.

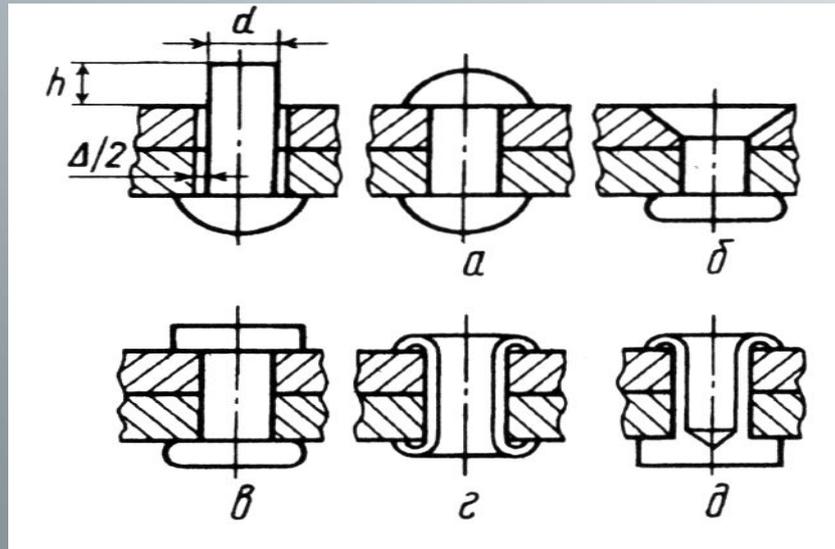
Дробный характер запрессовки приводит к постоянству статической силы при выполнении соединения в отличие от обычной запрессовки, при которой значение силы прямо пропорционально длине сопряжения.

Метод ультразвуковой запрессовки можно легко автоматизировать. Устройство (преобразователь с концентратором) удобно монтируется на исполнительный сборочный механизм или руку робота.

Рекомендуемые режимы сборочного процесса: резонансная частота преобразователя = 22...44 кГц; амплитуда торца вибратора = 5...30 мкм (в зависимости от шага микронеровностей), ω скорость запрессовки < 40 мм/с.

Для компенсации перекосов сопрягаемых поверхностей необходимо на их торцах создавать заходные фаски и пояски, а крепление вибратора делать подпружиненным.

Клепанные соединения в конструкциях машин и сборочных единиц применяются там, где соединяются детали из плохо свариваемых материалов и экономически невыгодно использовать резьбовые детали, а также в случае работы соединений в условиях приложения усталостных аperiodических нагрузок.



Стержневые (а-в), трубчатые (г) и полутрубчатые (д) заклепки

Материал заклепок – сталь, медь, латунь и алюминиевые сплавы.

В соединяемых деталях отверстия под заклепки сверлят заранее.

Одновременное сверление двух деталей в сборе применяют при повышенной точности совпадения отверстий.

При установке заклепок отверстия соединяемых деталей должны быть совмещены с требуемой точностью, а диаметральный зазор

$$\Delta = 0,2 \text{ мм при } d < 6 \text{ мм,}$$

$$\Delta = 0,25 \text{ мм при } 6 \leq d < 10 \text{ мм}$$

$$\text{и } \Delta = 0,3 \text{ мм при } 10 < d \leq 18 \text{ мм.}$$

В противном случае возможен изгиб стержня заклепки, смещение деталей, а при переменных нагрузках быстрый износ и разрушение соединения. Качество соединения зависит от длины заклепки – выступающая часть стержня должна быть в пределах (1,3...1,6) в зависимости от формы головки. Для уменьшения смещений отверстий в соединяемых деталях клепку целесообразно выполнять не последовательно, а взброс или одновременно.

Силу холодной клепки определяют по формуле:

$$P_{\text{кл}} = Kd^{1,75} \sigma_{\text{в}}^{0,75},$$

где K – коэффициент формы замыкающей головки, равный 28,6 для сферических; 26,2 для потайных; 15,2 для плоских и 4,33 для трубчатых заклепок; d – диаметр стержня заклепки, мм; $\sigma_{\text{в}}$ – временное сопротивление материала заклепки, МПа.

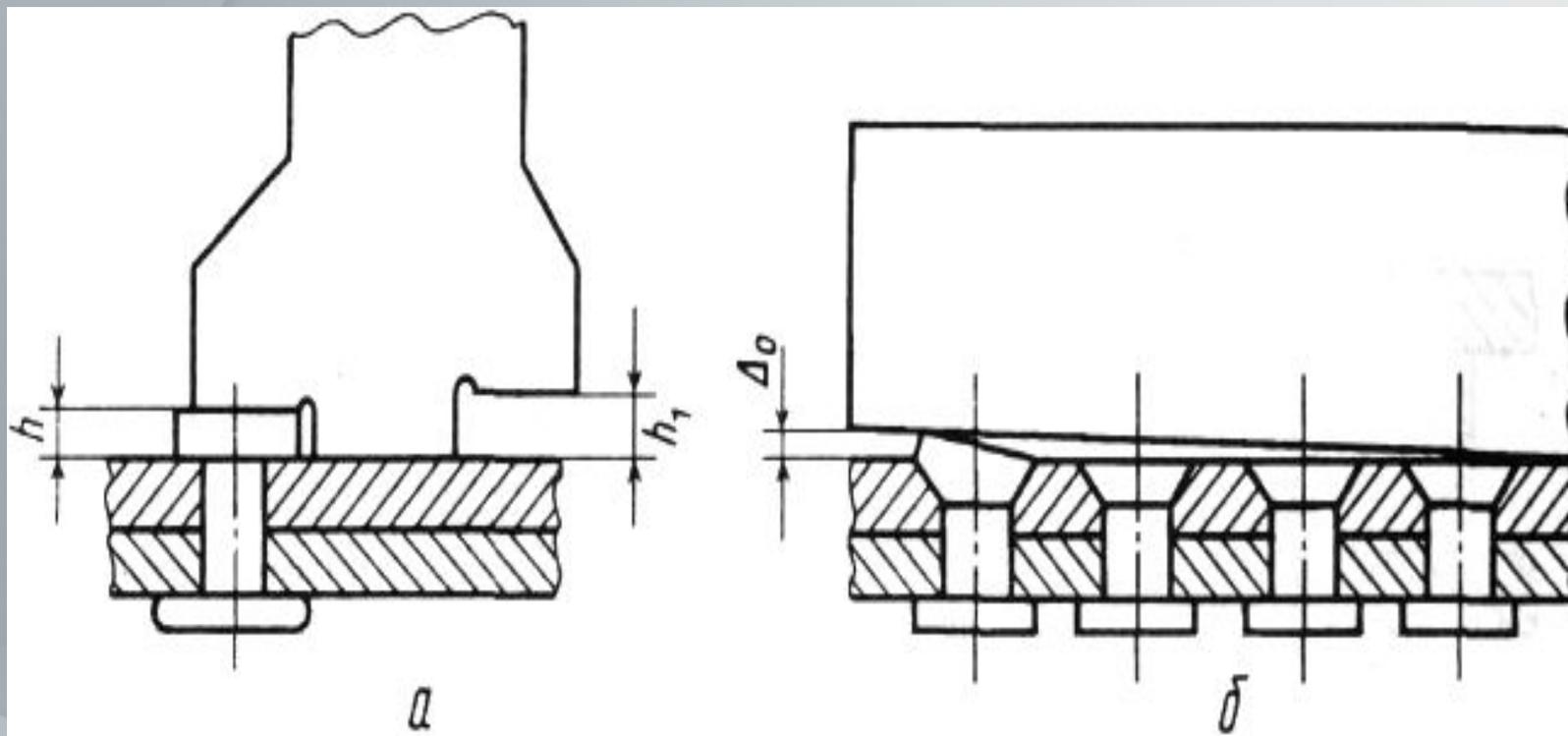
При горячей клепке $P_{\text{кл}}$ 65...80 кН (на 1 см² сечения стержня заклепки). Нагревают стальную заклепку до температуры 1050... 1100 °С.

Клепанные соединения выполняют на механических клепальных машинах и прессах. При работе на прессах время выполнения одного соединения равно 3 с. При горячей клепке усилие на прессах должно быть не менее 100 Н, а при холодной F_i — 250 Н, где F_i – площадь поперечного сечения заклепки, мм.

Расклепывание выполняют со стороны более твердой детали.

Процесс клепки соединения хорошо автоматизируется (пробивка отверстий, подача заклепок в отверстия и обжим головки). Время выполнения соединения диаметром до 4 мм составляет 0,5 с.

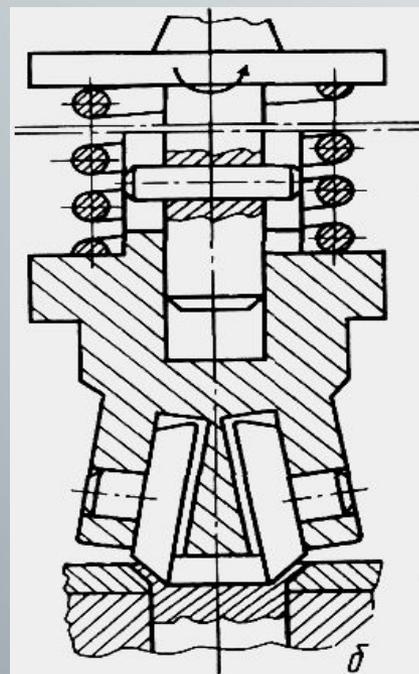
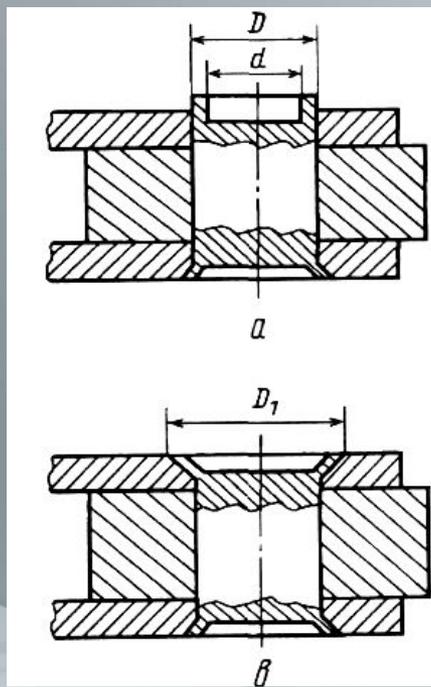
Плоские головки заклепок контролируют по высоте и диаметру (а), потайные — линейкой и щупом (б).



Контроль качества заклепок:

а – высоты плоской головки; б – положения потайной головки

В конструкциях машин нередко встречаются неподвижные соединения, осуществляемые путем расклепывания одной из собираемых деталей. Сложность сборки заключается в необходимости обеспечения точности взаимного положения собираемых деталей, поэтому в этих случаях нужно применять специальные сборочные приспособления. Выполнение таких соединений, особенно при больших диаметрах расклепываемой части детали, очень трудоемко и клепку часто заменяют на раскатку. Один конец такой оси-заклепки раскатывают в приспособлении, затем устанавливают в отверстие деталей и раскатывают второй конец. Раскатку выполняют специальной головкой на сверлильном станке.



Заклепка до раскатки (а), в процессе раскатки (б) и после нее (в)

ТМС СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ-1

Сварные соединения широко применяют в машиностроении, их прочность обычно не ниже клепаных, но они значительно менее трудоемки и более технологичны. Сварные конструкции обеспечивают снижение массы и повышение коэффициента использования материала.

Удельные капитальные вложения из расчета на 1 т сварных заготовок примерно в 3 раза меньше, чем литья, и 5 раз меньше, чем поковок из слитков. В ряде случаев сварка единственно возможный метод получения неразъемных соединений с требуемыми свойствами. К числу основных особенностей сварных изделий можно отнести следующие:

- ✓ органическая связь отдельных элементов друг с другом, что позволяет совместить преимущества составной конструкции в производстве с достоинством монолитных в эксплуатации;
- ✓ упрощение соединений, создание разнообразных форм при использовании исходных заготовок, полученных различными технологическими методами (сварно-литые, штампосварные и др.);
- ✓ высокие механические свойства, применение разнородных материалов, наиболее соответствующих условиям работы конструкции;
- ✓ высокая технологичность, снижающая трудоёмкость и себестоимость технической подготовки и процесса изготовления.

Методы сварки лежат в основе создания современных мало- и безотходных технологических процессов.

Согласно ГОСТ 19521-XX выделяют следующие признаки классификации сварки:

- ✓ физические;
- ✓ технические;
- ✓ технологические.

Классификация сварки по физическим признакам

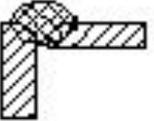
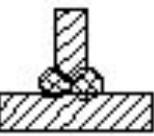
Класс сварки – по форме энергии	Вид сварки – по виду источника энергии, используемого для образования сварного соединения
Термический	Дуговая; электрошлаковая; электронно-лучевая; плазменно-лучевая; ионно-лучевая; тлеющим разрядом; световая; индукционная; газовая; термитная; литейная
Термомеханический	Контактная; диффузионная; индукционно-прессовая; газопрессовая; термокомпрессионная; дуго-прессовая; шлако-прессовая; термитно-прессовая; печная
Механический	Холодная; взрывом; ультразвуковая; трением; магнито-импульсная

ТМС СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ-3

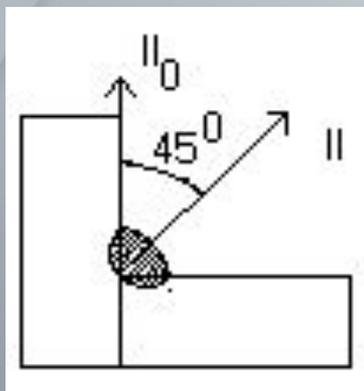
По техническим признакам выделяют следующие виды сварки:

- по способу защиты металла в зоне сварки:
 - ✓ в воздухе;
 - ✓ в вакууме;
 - ✓ в защитном газе (в активных газах – CO_2, N_2, H_2 , водяном паре, в смеси активных газов; в инертных газах – Ar, He , в смеси $Ar + He$; в смеси инертных и активных газов);
 - ✓ под флюсом;
 - ✓ по флюсу;
 - ✓ в пене;
 - ✓ с комбинированной защитой;
- по непрерывности процесса:
 - ✓ непрерывные;
 - ✓ прерывистые;
- по степени механизации:
 - ✓ ручные;
 - ✓ механизированные;
 - ✓ автоматизированные;
 - ✓ автоматические.

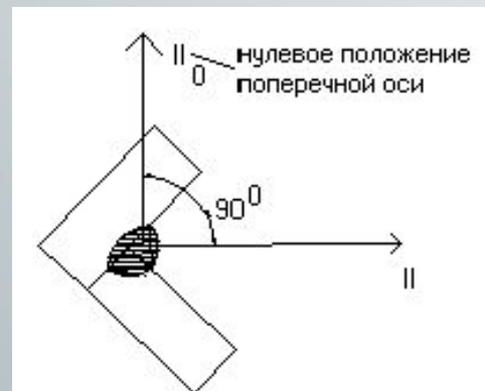
Основные виды сварных соединений

Наименование	Схема
Стыковой односторонний с отбортовкой кромок	
С отбортовкой одной кромки	
Замковый	
Со скосом одной кромки замковый	
Двусторонний шов с криволинейным скосом одной кромки	
Угловое соединение со скосом одной и двух кромок	
Тавровое соединение со скосом двух кромок, двусторонний шов	

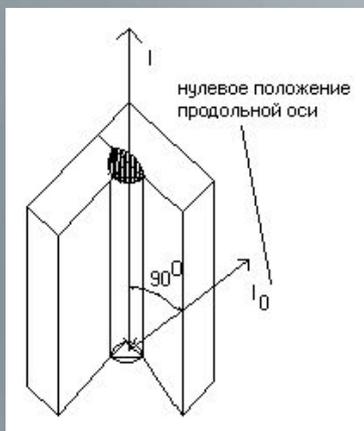
Виды швов по положению в пространстве



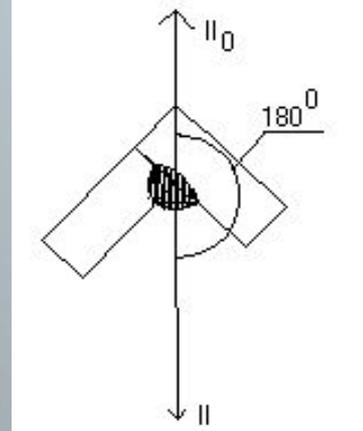
нижний



горизонтальный



вертикальный

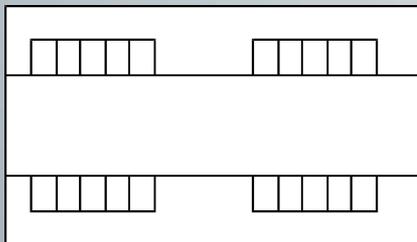


потолочный

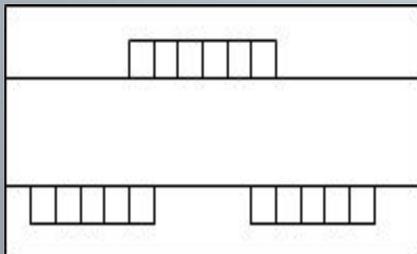
ТМС СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ-6

Сварные швы могут быть (ГОСТ 2601-XX):

- ✓ точечными;
- ✓ прерывистыми;
- ✓ цепными прерывистыми (двусторонний прерывистый шов таврового соединения, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого);

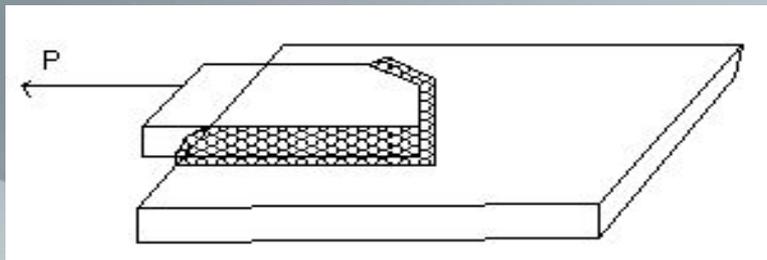


- ✓ шахматными прерывистыми (двусторонний прерывистый шов таврового соединения, у которого промежутки на одной стороне расположены против сваренных участков шва ее другой стороны);



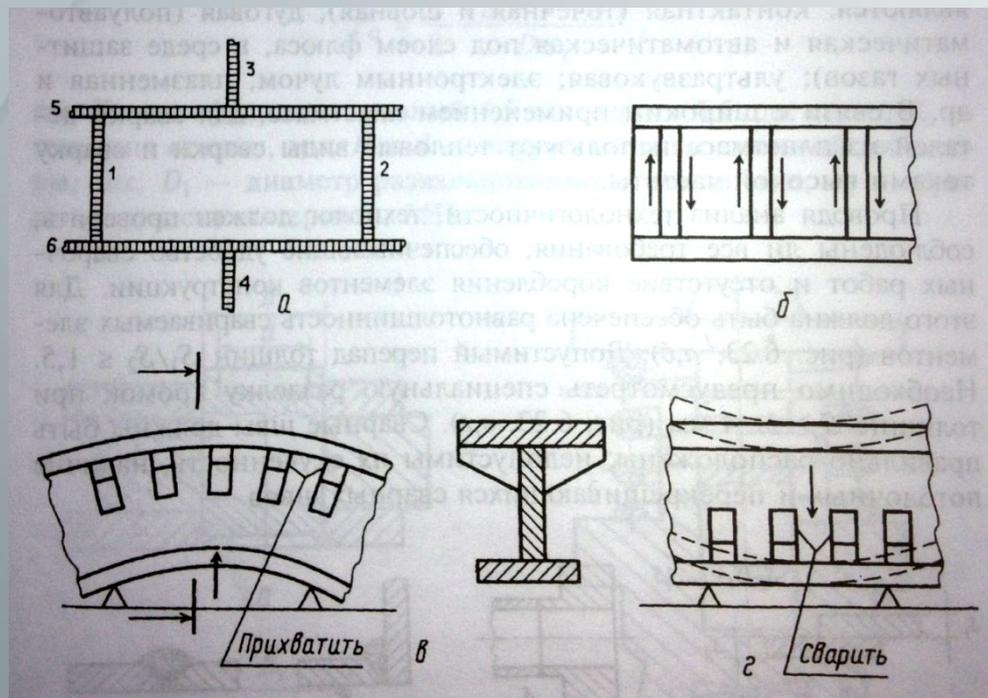
- ✓ непрерывными.

Швы по направлению действующих на них усилий могут быть: лобовыми и фронтальными



1. При проектировании новых сварных конструкций необходимо стремиться технологически подобрать ранее освоенные, чтобы не создавать новое оборудование и разрабатывать вновь технологические процессы.
2. Конструкция сварного изделия должна позволять применение современных средств механизации.
3. Эффективен метод блочно-модульного построения сварных соединений, предназначенных для изготовления сложных конструкций. В результате удастся осуществить комплексное их проектирование с учетом рациональной технологии и организации производства.
4. Резерв повышения технологичности – типовые и стандартизированные сварные детали и узлы, с помощью которых возможно массовое механизированное и автоматизированное производство стандартных сварных конструкций, что снижает их стоимость и затраты на конструкторскую и технологическую подготовку производства.
5. Предусмотреть как можно меньше сварных соединений, так как их прочность, как правило, ниже прочности основного металла детали.
6. Желательно обеспечить равнопрочность металла шва и основного металла.
7. Для обеспечения равнопрочности сварных соединений и основного металла и для удаления сварочных напряжений очень часто требуется последующая термическая обработка. Поэтому габариты сварных узлов должны соответствовать требованиям их обработки в термических цехах. В тех случаях, когда последующая термообработка не даёт должного эффекта, невозможна или экономически невыгодна, равнопрочности сварных соединений достигают утолщением кромок элементов конструкции на ширине, не менее зоны термического влияния.

8. Для предотвращения образования чрезмерных сварочных деформаций стремятся симметрично расположить сварные соединения. Режим сварки должен обеспечить симметричность сечения шва в зоне термического влияния. При сварке тонколистовых конструкций нужно жестко закрепить свариваемые элементы вблизи стыка. В некоторых случаях (например, при изготовлении сварных балок) целесообразно применять предварительный изгиб деталей перед сваркой с таким расчётом, чтобы после него изделие приняло заданную форму. Сварочные деформации тем больше, чем больше сечения швов. Поэтому при конструировании сварной конструкции предусматривают минимально возможные их сечения.
9. Швы не следует располагать в наиболее нагруженных местах и сечениях, а также в зонах с максимальной концентрацией напряжений.
10. В процессе сварки вследствие усадочных явлений в шве происходит укорочение конструкции и её искривление. Нельзя допускать скученности швов.
11. В местах перекрещивания сварных швов чаще всего возникают трещины, поэтому таких конструкций избегают.
12. В цилиндрических ёмкостях продольные стыки обечаек не располагают на одной прямой.
13. Там, где к сварным швам не предъявляет высоких требований к прочности и плотности соединений, рекомендуется применять прерывистые симметричные швы или электрозаклепочные соединения.
14. В сварной конструкции не допускают резких (ступенчатых) переходов по толщине металла, отклонений от симметричности расположения элементов по толщине, резких переходов форм конструкции (малых радиусов закруглений вырезов).



При взаимно-перпендикулярных сварных швах сначала проваривают все параллельные швы, а затем перпендикулярные. На рисунке цифрами показана последовательность выполнения сварных швов.

Так как поперечная усадка шва в конце больше, чем в начале, то ребра следует приваривать маятниковым наложением швов.

Если известно направление поводки, то свариваемые детали перед сваркой изгибают в обратном направлении (в, г). Возникшие остаточные напряжения после сварки необходимо снять отжигом, особенно если сварная конструкция после сварки подвергается механической обработке. Для облегчения сварочных работ вначале свариваемые элементы прихватывают.

Пайка является процессом соединения деталей, при котором в зазор между ними вводится расплавленный припой, смачивающий поверхности и скрепляющий их после охлаждения и отверждения. При этом происходит процесс взаимного растворения металлов деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой.

В зависимости от температуры плавления припой бывают мягкими (оловянисто-свинцовые, $t_{пл} < 100^\circ\text{C}$) и твердыми (медные, медно-цинковые, $t_{пл} = 4 \dots 1200^\circ\text{C}$). Мягкие припои имеют до $1 \sigma_B$ МПа, твердые – до 500 МПа и выше. Вид припоя конструктор назначает при разработке конструкции узла с учетом условий работы машины, материала деталей и оговаривает в технических требованиях.

Кроме припоя при пайке применяют флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве собираемых деталей и лучшей смачиваемости места спая. В качестве флюсов для твердых припоев применяют буру, плавиновый шпат и их смеси с солями щелочных металлов, для мягких припоев - канифоль, нашатырь, хлористый цинк и фосфорную кислоту.

Пайку точных соединений проводят без флюсов в защитной атмосфере или вакууме. Поверхности соединяемых деталей тщательно обезжиривают и очищают от оксидов и посторонних частиц.

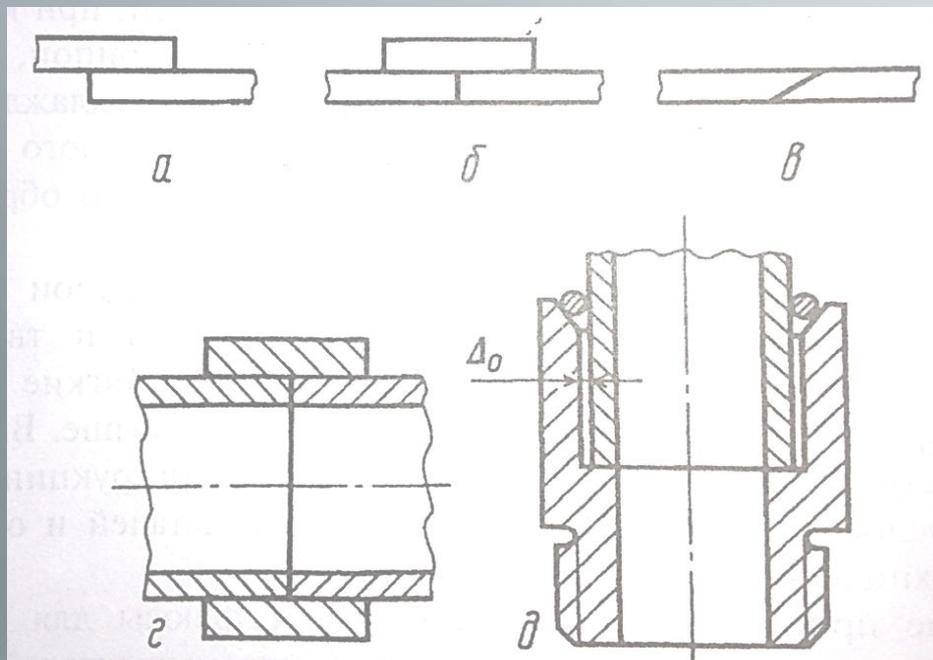
Для повышения прочности соединения необходимо обеспечить большую поверхность прилегания сопрягаемых поверхностей. Поэтому применяют контакт деталей внахлестку или вскос, создают расточки, вводят дополнительные детали. От толщины зазора между сопрягаемыми поверхностями зависит прочность соединения. Так, при пайке стальных деталей твердыми припоями рекомендуется зазор 0,03...0,05 мм, мягкими припоями - 0,05...0,2 мм; при пайке медных сплавов зазор принимают равным 0,08...0,35 мм.

Бура – (араб. – бурак) – селитра: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – соль тетраборной кислоты $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

Плавиновый шпат – флюорит – CaF_2 .

Канифоль: $\text{C}_{19}\text{H}_{20}\text{COOH}$.

Припои закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволок, лент, дроби, паст вместе с флюсом, а также наносят в расплавленном виде. В мелкосерийном производстве местный нагрев производят паяльником или газовой горелкой. В серийном и массовом производствах сборочные единицы греют в ваннах и газовых печах, а также широко применяют электронагрев и нагрев токами высокой частоты. Процесс пайки достаточно трудоемок и его необходимо механизировать и автоматизировать.



Виды соединений при пайке: а, б – внахлестку; в – вскос;

г – с применением соединительных деталей; д – с дополнительной расточкой

Склеивание – один из способов получения неразъемных соединений деталей по цилиндрическим, плоским поверхностям.

К основным характеристикам клееных соединений относят:

- ✓ предел прочности при сдвиге, равномерном и неравномерном отрыве;
- ✓ предел выносливости при сдвиге, изгибе и длительную прочность при постоянной статической нагрузке;
- ✓ стойкость к нагреву, охлаждению, воздействию влаги и различных сред (масел, топлива и т.п.).

К преимуществам клееных соединений следует отнести:

- ✓ возможность соединения разнородных материалов;
- ✓ равномерность распределения напряжений в соединении (повышается сопротивление вибрациям);
- ✓ уменьшение объема механической обработки (отпадает надобность сверления отверстий для крепежа);
- ✓ герметичность и коррозионную стойкость соединения;
- ✓ в ряде случаев уменьшение массы и себестоимости изготовления изделия.
- ✓ Недостатками клееных соединений являются:
- ✓ низкая прочность на отрыв (отдир, расслаивание);
- ✓ «старение» некоторых клеев с течением времени;
- ✓ меньшая долговечность по сравнению со сварными и клепаными соединениями;
- ✓ длительный срок полимеризации (у ряда клеев);
- ✓ незначительная тепловая стойкость.

Существует большое разнообразие марок клеев.

Их делят на две группы: конструкционные (жесткие) и неконструкционные (эластичные):

- ✓ конструкционные клеи обеспечивают высокую прочность (на сдвиг до 50...55 МПа, на отдир до 2,5...2,7 МПа);
- ✓ неконструкционные клеи менее прочны (на сдвиг до 5 МПа, на отдир до 0,7 МПа), но более дешевы.

Кроме того, клеи подразделяют на жидкие, пастообразные, пленочные и порошкообразные.

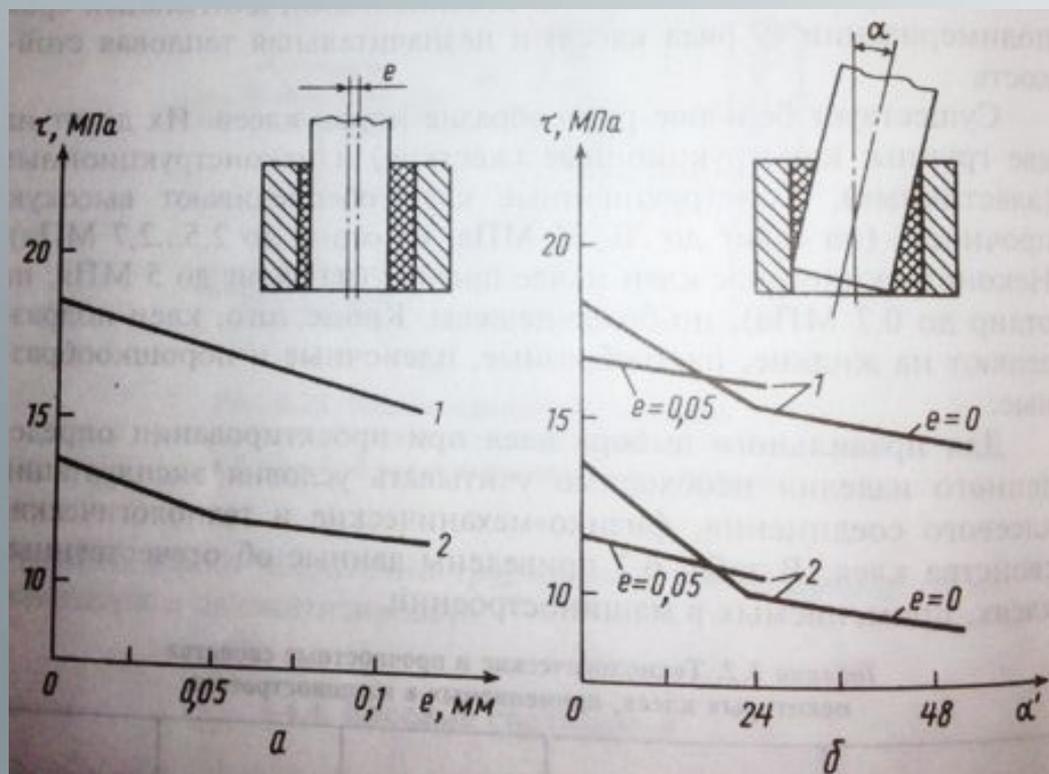
Для правильного выбора клея при проектировании определенного изделия необходимо учитывать условия эксплуатации клееного соединения, физико-механические и технологические свойства клея.

Большое значение для обеспечения прочности имеет толщина клеевой прослойки, причем увеличение слоя клея снижает прочность соединения. Оптимальные толщины лежат в пределах 0,10...0,15 мм. Не менее важна равномерность толщины клеевого слоя, обусловленная точностью взаимного расположения сопрягаемых поверхностей.

Технологические и прочностные свойства некоторых клеев,
применяемых в машиностроении

Марка клея	Режим отверждения		Время отверждения	Предел прочности при сдвиге, МПа	Термостойкость, °С
	$t, ^\circ\text{C}$	Толщина зазора, мм			
УП-5-240	150	—	30 мин	38	200
ВК-9	20	—	24 час	15-22	150
ВК-31	175	0,06-0,1	3 час	30	100
ВАК-20	20	0,06-0,1	2-12 час	15-20	150
		0,05-0,06			
«Анатерм» -107	20	0,45	20 мин	0,5-3	60-100
«Унигерм»-9	20	0,3	20 мин	—	До 150

Так, при выполнении цилиндрических соединений с применением анаэробных клеев (застывающих без доступа воздуха) эксцентриситет сопрягаемых поверхностей снижает прочность соединения (а) на 11...30 %; увеличение угла перекоса сопрягаемых поверхностей до α_{max} снижает прочность (б) на 20...32 %.



Зависимость прочности клееного цилиндрического соединения от точности взаимного расположения сопрягаемых деталей при толщине зазора 0,2 мм: а – от эксцентриситета; б – от угла перекоса; 1 – клей марки «Анатерм-107»; 2 – клей марки «Унигерм»-9

Резьбовые соединения (РС) в конструкциях машин составляют 15...25 % от общего числа соединений, поскольку они отличаются простотой, надежностью, а также возможностью разборки и повторной сборки без замены деталей. Трудоемкость сборки резьбовых соединений (болтовых, винтовых, шпильчных) составляет 25...35 % от общей трудоемкости сборочных работ.

Процесс сборки РС состоит из следующих этапов:

- ✓ соединение (наживление) резьбовых деталей на 2...3 нитки;
- ✓ их свинчивание;
- ✓ затяжка;
- ✓ стопорение для предохранения от самоотвинчивания.

При автоматизации первые три этапа сборочного процесса выполняются последовательно одним инструментом (гайковертом, винтовертом, шпильковертом), при механизации первый этап – наживление – выполняется вручную.

Для удобства наживления на торцах резьбовых поверхностей выполняют фаски под углом 45°.

– наружный диаметр болта, внутренний диаметр гайки.

$d(D)$ – внутренний диаметр болта, наружный диаметр гайки.

$d_1(D_1)$ – средний диаметр.

$d_2(D_2)$

При автоматическом выполнении наживления условия собираемости улучшаются из-за вращательного движения присоединяемой детали, а также пониженной жесткости патрона и насадки резьбозавертывающего механизма. При этом условия собираемости имеют вид

$$\Delta_{\Sigma} \leq \sum_1^2 f_i + \frac{\delta_c}{2} + \Delta_y; \quad \alpha_{\Sigma} \leq \frac{\arctg(p - 0,5Td_2tg30^0)}{(d + d_1 + Td_1)},$$

где Δ_{Σ} – погрешность положения сопрягаемых резьбовых поверхностей;

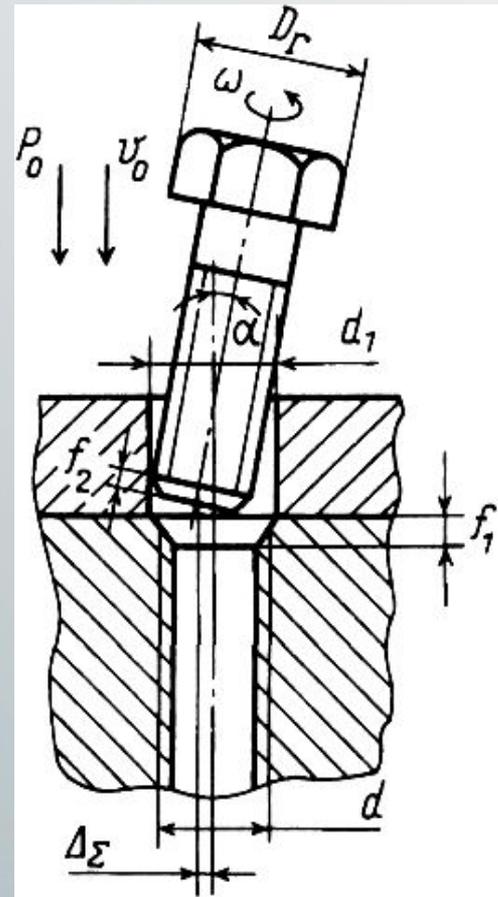
$$\sum_1^2 f_i$$

– сумма катетов фасок на торцах

резьбовых поверхностей; δ_c зазор в РС; Δ_y упругие отжатия насадки и патрона резьбозавертывающего устройства;

p – шаг резьбы; α_{Σ} – угол перекоса сопрягаемых резьбовых поверхностей;

Td_2, Td_1 – допуски на средний диаметр резьбы; d, d_1 – наружный и внутренний диаметры резьбы (болта).



В процессе наживления упругие отжатия можно увеличить, изменяя длину насадки или встраивая специальные компенсирующие устройства, например крестовую муфту. Для выполнения процесса наживления необходимо помимо вращательного движения создать осевую силу для прижатия резьбовой детали к резьбовому отверстию.

Оптимальные режимы, обеспечивающие высокую безотказность выполнения этого этапа: угловая скорость $\omega = 47 \dots 60$ рад/с (для гаек) и $30 \dots 60$ рад/с (для шпилек и винтов), $P_0 = 50 \dots 200$ Н при осевой скорости $V_0 < 0,1$ м/с.

Рациональный выбор режимов сборочного процесса позволяет безотказно наживлять резьбовые детали М6...М20 с катетами фасок 0,5...1 мм за два оборота шпинделя при погрешности $\Delta_{\Sigma} = 1,4 \dots 2$ мм.

Качество сборки РС определяется силой затяжки $P_3 = \sigma_3 F_6$, где σ_3 – напряжение затяжки; F_6 – площадь поперечного сечения болта.

Минимальное напряжение затяжки определяют из условия нераскрытия стыка, максимальное – зависит от предела текучести материала резьбовой детали.

Для ответственных резьбовых соединений $\sigma_{jmax} = (0,8 \dots 0,9) \sigma_T$

Требуемая сила затяжки создается моментом резьбозавертывающего инструмента (ключа, гайковерта)

$$M_3 = P_3 \left(\frac{d_2}{2f_p} + \frac{D_{пр}}{2f_T} \right),$$

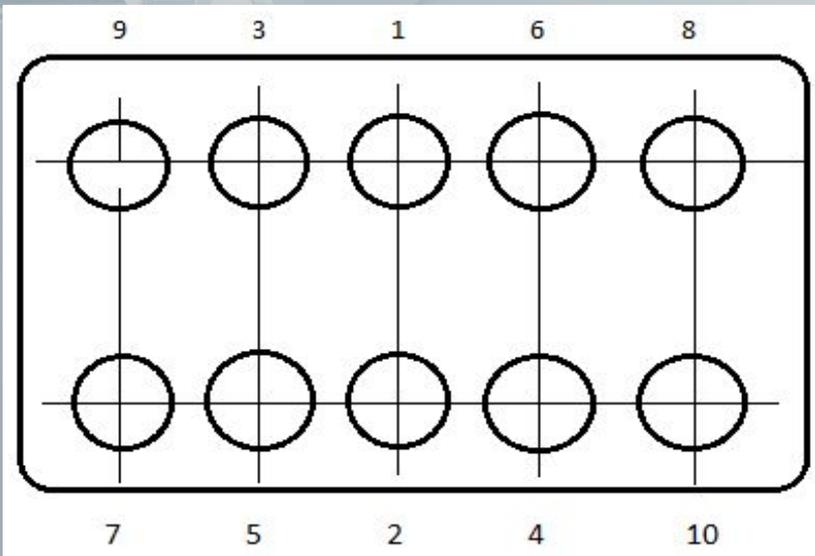
где d_2 – средний диаметр резьбы, мм; f_p – коэффициент трения в резьбе и под торцом гайки или головки винта; f_T – коэффициент трения в резьбе и под торцом гайки или головки винта; $D_{пр}$ – прикладной диаметр головки винта или гайки, мм.

ТП сборки должен обеспечивать требуемое качество резьбового соединения. Однако создание стабильного момента затяжки еще не гарантирует стабильность силы затяжки, так как только 10-15 % момента расходуется на создание силы (остальное на преодоление сил трения в резьбе и под торцом).

На точность силы затяжки влияют следующие погрешности:

- ✓ резьбового соединения (погрешности параметров резьбы, разброс значений коэффициента трения и податливости стыка);
- ✓ резьбозавертывающего инструмента (нестабильность крутящего момента гайковерта, погрешность контрольного устройства, погрешность настройки гайковерта на крутящий момент);
- ✓ условий сборки (погрешность положения осей резьбовых поверхностей, погрешность, вызываемая повторными затяжками, погрешность расчета и измерения).

Групповые РС в крупносерийном и массовом производствах обычно выполняют одновременно при помощи многошпиндельных резьбозавертывающих устройств, в мелкосерийном производстве затяжку последних (как предварительную, так и окончательную) выполняют в определенном порядке.



Последовательность затяжки болтов

Невозможность непосредственного измерения силы затяжки привела к созданию ряда косвенных методов контроля: по крутящему моменту, по углу поворота, по удлинению болта, шпильки, по деформации индикаторной шайбы, по крутящему моменту и углу поворота (комбинированный метод), по пределу упругости болта.

Наибольший эффект достигается в таком ТП, когда указанные параметры контролируют в процессе выполнения соединения контрольными устройствами, встроенными в резьбозавертывающие устройства.

Для ограничения крутящего момента при ручной затяжке применяют предельные и динамометрические ключи, при использовании механизированных инструментов заданный момент затяжки обеспечивают муфтами тарирования, реле тока, самоторможением двигателя в конце затяжки.

Создание микропроцессорных систем управления позволило постоянно измерять при помощи тензодатчиков в процессе затяжки один или несколько параметров в соединении и отключать гайковерт при достижении требуемых значений.