

Дисциплина – «Технологичность конструкций» - для специальности 261001 «Технология художественной обработки материалов»

8. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Конкурентоспособность изделия зависит не только от его качественных характеристик, но и от цены, которая в значительной мере определяется технологичностью конструкции (ТК). Приведены характеристики ТК отливок, заготовок, обрабатываемых давлением, сварных конструкций, деталей, подвергаемых механической обработке. Приведены рекомендации по повышению технологичности сборочных операций.

Технологичность конструкции изделия – это совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации.

ТК принято оценивать по следующим показателям:

- *материалоемкость* изделия – затраты материальных ресурсов, необходимых для производства, эксплуатации и ремонта изделия;
- *металлоемкость* изделия – затраты металла, необходимого для производства, эксплуатации и ремонта изделия;
- *энергоемкость* изделия – затраты топливно-энергетических ресурсов, необходимых для производства, эксплуатации и ремонта изделия;
- *трудоемкость* изделия в изготовлении (ремонте) – суммарные затраты труда на выполнение технологических процессов изготовления (ремонта) изделия.

Цель работ по обеспечению ТК заключается в придании конструкции изделия такого комплекса свойств, при котором достигаются оптимальные затраты всех видов ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте изделия.

Основные задачи обеспечения ТК:

- прогнозирование, установление и применение базовых показателей ТКИ для данного вида изделия;
- отработка конструкции изделия на технологичность;
- технологический контроль конструкторской документации.

Следует учитывать, что понятие технологичности обладает относительностью, т. к. зависит от вида изделия, уровня технологии на данном производстве, наличия соответствующего оборудования и т. п.

Технологичность реализуется при конструировании изделия и не следует надеяться, что нетехнологичная деталь или узел будут исправлены технологом.

8.1. Технологичность конструкции деталей

При отработке деталей на технологичность анализируют следующие признаки:

- правильность выбора заготовки (с целью сокращения механической обработки);
- рациональность выбора материала;
- оптимальность простановки размеров;
- степень совмещения конструкторских, технологических и метрологических баз;
- исключение обработки торцов внутри корпусов;
- жесткость деталей для успешной механической обработки;
- предусмотрение канавок для выхода инструмента;
- минимизация количества разнообразных отверстий, резьб и т. п.;
- четкое разграничение поверхностей, подлежащих механической обработке;
- расположение соосных отверстий в порядке уменьшения их диаметров;
- исключение несквозных отверстий и т. п.

Технологичность детали в значительной мере определяется рациональностью способа получения заготовки. Заготовки в основном получают из сортового проката, литьем, ковкой и штамповкой, сваркой.

Выбор способа получения заготовки определяется объемом производства, конфигурацией детали, сроками, отведенными на технологическую подготовку производства, материалом детали, предопределяющим, в частности, возможность и целесообразность применения того или иного вида литья: в песчаные или оболочковые формы, в кокиль, по выплавляемым моделям, под давлением.

Заготовки, получаемые литьем или ковкой, обычно подвергаются механической обработке по многим поверхностям в отличие от штампованных заготовок, точность и качество поверхности которых обеспечиваются в процессе штамповки.

Важнейшей характеристикой детали может служить коэффициент сложности формы, равный

$$z = \frac{m_n}{m_\phi},$$

где m_n – масса детали, m_ϕ – масса условной детали в форме цилиндра или параллелепипеда, в который можно вписать данную деталь.

Чем меньше значение z , тем ниже технологичность детали и тем целесообразнее применение литья или штамповки для получения заготовки. Считается, что при $z \leq 0,16$ целесообразно применениековки для получения заготовки из стали уже при минимальной партии деталей (около 100 шт).

Можно полагать, что с применением скоростного прототипирования (см. разд. 1.1), позволяющего существенно, до нескольких часов, сократить время изготовления модели и, следовательно, упростить процесс изготовления литейной формы, объем минимальной партии деталей, для которой целесообразно применение литья с целью получения заготовки, может быть меньше.

Рассмотрим основные требования к технологичности конструкции деталей, заготовки для которых получают литьем, обработкой металлов давлением, сваркой, а также требования к деталям из пластмасс.

В конструкции *отливок*:

- должно быть обеспечено минимальное число и оптимальное расположение поверхностей разъема формы; так, для упрощения изготовления модели и формы разъем модели следует осуществлять в одной плоскости с плоскостью разъема формы;
- должно быть минимизировано число стержней;
- полки для крепления других деталей и ребра жесткости следует располагать перпендикулярно к плоскости разъема формы, чтобы исключить появление «теневых» поверхностей (поднутрений). На рис. 8.1, *a* показаны рациональная (схема II) и нерациональная (схема I) конструкции отливки;
- необходимо предусмотреть литейные уклоны для удаления модели из формы без разрушения последней (при литье в песчаные формы) и для облегчения извлечения отливки из пресс-формы;
- необходимо обеспечить равномерность толщины стенок отливки (рис. 8.1, *b*), плавный переход от тонких стенок к сечениям большей толщины, а также правильное сопряжение стенок: отношение толщины соприкасаемых стенок не должно превышать 4:1;
- должна быть принята рациональная толщина стенок, которая зависит от материала, способа литья, размеров отливки и т. п. Так, минимальная толщина стенки отливки из серого чугуна при длине отливки до 800 мм составляет 6...8 мм [15].

Технологичность конструкции отливок оценивают следующими основными показателями:

- коэффициентом использования металла – отношение массы готовой детали к массе отливки;
- коэффициентом необрабатываемой поверхности – отношение необрабатываемой поверхности по всей поверхности отливки.

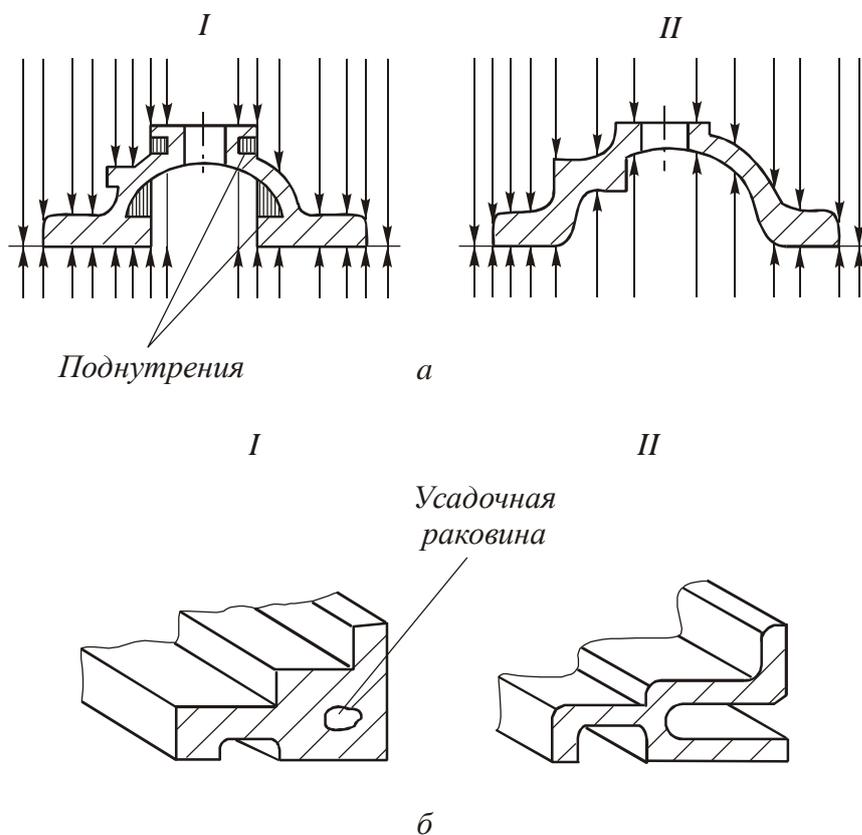


Рис. 8.1. К анализу технологичности литых заготовок

Чем ближе значения этих коэффициентов к единице, тем технологически рациональнее конструкция отливки.

Для различных методов получения заготовок и деталей *обработкой давлением*, таких, например, как листовая и объемная штамповка, существуют рекомендации и требования, без учета которых конструирование технологичной заготовки невозможно.

Так, например, у листоштампующих деталей:

- допуск на толщину стенки детали должен быть больше допуска на толщину листа заготовки;
- для простановки размеров в качестве баз выбирают поверхности, точность обработки которых наиболее высокая;
- требуемые размеры детали должны обеспечиваться размерами инструмента.

Например, на чертеже детали следует проставлять радиус сгиба выгнутой, а не выпуклой поверхности; для стакана, получаемого вытяжкой, указываются внутренние размеры и т. п.

Технологически рациональную форму *штампующей детали* выбирают с учетом следующих основных положений и требований:

- рационально одностороннее расположение ребер, бобышек и других выступающих элементов, что позволяет повысить точность деталей, снизить расход металла;

- следует избегать резких переходов по сечению детали: площадь поперечного сечения по длине детали не должна изменяться более чем в три раза;
- нежелательно, чтобы деталь имела переменную по длине толщину ребер;
- выступы и ребра не должны располагаться близко друг к другу, т. к. при близком расположении затрудняется течение металла в выступы и снижается стойкость штампов;
- сложную по форме деталь целесообразно расчленять на отдельные части простой формы, свариваемые между собой.

При проектировании сварных конструкций необходимо учитывать следующие факторы:

- конструкция и габариты сварного изделия должны позволять проведение термической операции по удалению остаточных напряжений, ответственных за коробление изделия;
- следует стремиться к симметричному расположению сварных швов, что должно снизить вероятность возникновения сварных деформаций;
- следует избегать соединения сварных заготовок различной толщины;
- в конструкциях необходимо использовать наиболее работоспособные и удобно выполняемые типы соединений.

При конструировании деталей из пластмасс необходимо:

- устранять поднутрения, препятствующие извлечению деталей из пресс-формы;
- предусматривать технологические уклоны;
- использовать ребра жесткости;
- предусматривать радиусы закруглений (устранять острые углы);
- выбирать рациональную конструкцию армирующих элементов;
- соблюдать условия равнотолщинности стенок;
- избегать одностороннего расположения ребер, т. к. это может привести к короблению детали.

Ниже приведены некоторые способы повышения *технологичности деталей, подвергаемых механической обработке.*

Важным признаком технологичности является *исключение обработки торцов*, канавок и других поверхностей внутри корпуса. В схеме II (рис. 8.2, а) это выполнено за счет использования уже обработанных стаканов 1 и 2, по схеме I обработка торцов крайне затруднена.

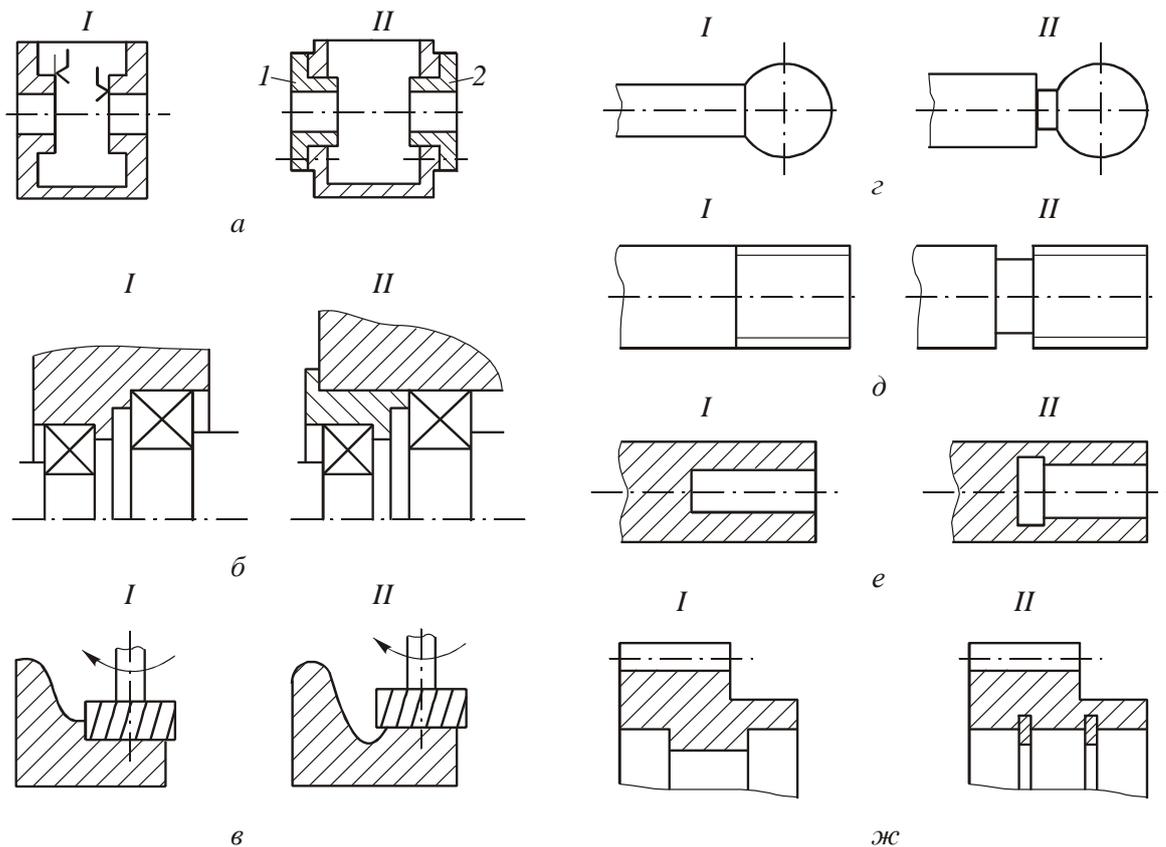


Рис. 8.2. Примеры повышения технологичности деталей при механической (лезвийной) обработке

Расчленение детали (см. схему II на рис. 8.2, б) существенно облегчает обработку поверхностей под подшипники.

Четкое разграничение обрабатываемых поверхностей (см. схему II на рис. 8.2, в) улучшает условия резания, повышает стойкость инструмента и точность по сравнению со схемой I. Создание условий для свободного выхода инструмента (см. рис. 8.2, г, д, е) является необходимым условием изготовления точных поверхностей. Обработка за один установ (см. схему II рис. 8.2, ж) является важным условием обработки высокоточных поверхностей.

8.2. Технологичность сборочных операций

Технологичность конструкции применительно к сборочным операциям можно характеризовать оптимальным применением следующих принципов и методов:

- взаимозаменяемости, компенсирования и регулирования;
- размерного анализа;
- расчленения конструкции на самостоятельные сборочные единицы (агрегаты, модули);
- рациональных способов соединений, сопряжений, креплений;
- рационального центрирования и базирования сопряженных деталей и узлов;
- сокращения крепежных элементов;
- устранения пригонки;

- упрощения сборочных операций, в частности, последовательности установки деталей в сборочную единицу, введения разъемов электрических кабелей, гидравлических и пневматических шлангов и т. п.).

Ниже приведены некоторые примеры реализации изложенных принципов и методов.

Введение в конструкцию компенсаторов является одним из эффективных методов регулирования точности размерных цепей. Эта мера позволяет расширить допуски и другие требования к изготавливаемым деталям. На рис. 8.3, а компенсатор 1 позволяет снизить точность изготовления линейных размеров деталей (крышки, вала). Причем схема II предпочтительнее, т. к. в ней легче измерить толщину компенсатора.

Применение в качестве компенсатора специальной сильфонной муфты позволяет избежать необходимости обеспечения точного взаимного расположения соединяемых валов (рис. 8.3, б).

Для упрощения изготовления деталей, сборки и повышения технологичности при эксплуатации используют *регулирование*. Так, предварительный натяг в роликоподшипниках с цилиндрическими роликами создается за счет деформирования внутреннего кольца (рис. 8.3, в) при затяжке на коническую шейку шпинделя. Беззазорное зацепление возможно получить соединением зубчатого колеса 5 с валом 1 с помощью конических разжимных колец 4 (рис. 8.3, г). Затяжка колец осуществляется гайкой 2 через втулку 3.

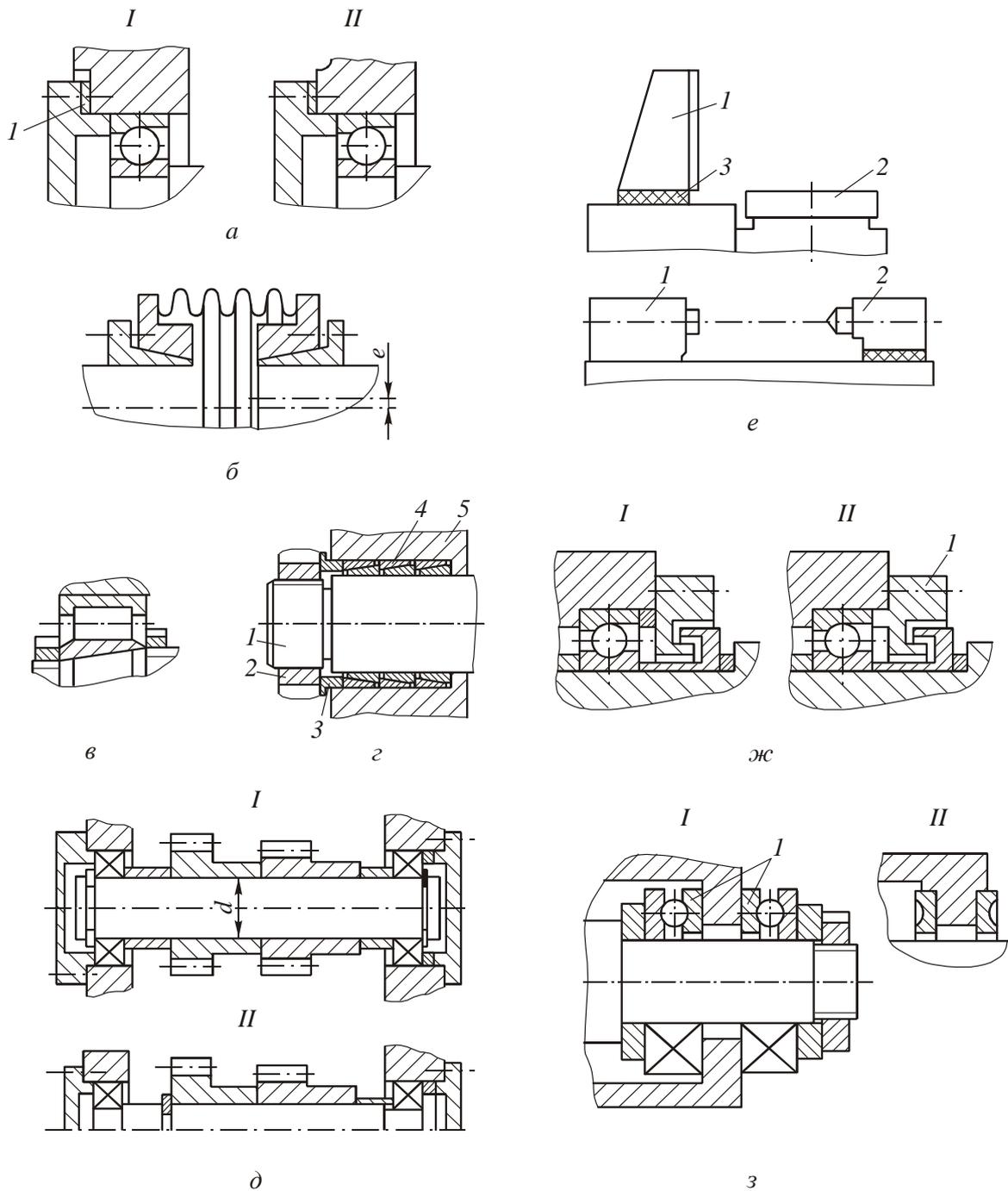


Рис. 8.3. К повышению технологичности сборки

Способы сопряжений, закреплений соединений оказывают большое влияние на трудоемкость сборочных операций. В схеме I на рис. 8.3, д вал имеет один диаметр d и монтаж деталей на нем затруднен, да и точность вала на участке посадки шестерен и дистанционных колец может быть ниже.

Более технологична схема II, где подшипники и зубчатые колеса устанавливаются на разных поверхностях.

В высокоточных устройствах при сложностях обеспечения точного взаимного положения деталей упрощает сборку использование *самотвердеющих пластмасс*.

На рис. 8.3, e положение стойки I – параллельность направляющих стойки относительно оси вращения планшайбы 2 – обеспечивается путем предварительной выставки стойки и заливке зазора между станиной и стойкой самотвердеющей пластмассой 3. Такой же метод применен для обеспечения соосности шпиндельного блока I и задней бабки 2 (см. рис. 8.3, e)

Очень важным является *центрирование деталей*, работа которых зависит от правильного положения относительно других деталей. Это относится, например, к лабиринтному уплотнению во фланце 1 (схема II на рис. 8.2, ж), которое хорошо работает только при равномерном кольцеобразном зазоре.

Правильное базирование деталей также является условием качественной сборки. Так, если не предусмотреть базы для кольца упорного подшипника (схема I на рис.8.3, з), может иметь место смещение колец при монтаже и неправильная работа подшипника.

Базирование колец (схема II) устраняет этот недостаток.

8.3. Соединения деталей

Любая конструкция представляет собой соединение отдельных элементов - узлов и деталей [6]. Грамотный и удачный выбор вида этих соединений в значительной степени определяет эстетические, прочностные, эксплуатационные, технологические свойства изделий. Так, например, трудно представить себе знаменитый танк Т34 без сварных конструкций, Эйфелеву башню – на резьбовых соединениях.

Различают неподвижные и подвижные соединения. Неподвижные соединения выполняют неразъёмными (сварные, паяные, клеевые, а также соединения, получаемые в процессе литья или пластического деформирования) и разъёмными (резьбовые, шпоночные, шлицевые).

Сварные соединения. Эти соединения применяют при изготовлении резервуаров, бункеров, рамных конструкций, ферм, станин, корпусов, а также во всех случаях, когда экономически целесообразно сложные детали получать соединением из простых штампованных или литых деталей.

Хорошей свариваемостью обладают низкоуглеродистые стали и низколегированные стали с низким содержанием углерода.

Наиболее распространены следующие виды сварки: дуговая ручная, автоматическая дуговая под слоем флюса, точечная, шовная, трением. Точечную и шовную сварку используют при соединении тонких листов.

При конструировании деталей, имеющих сварное соединение, руководствуются следующими правилами:

- сварные швы располагают в доступных местах;
- смежные сварные швы по возможности отдают друг от друга, чтобы свести к минимуму сосредоточение наплавленного металла (расстояние l на рис.8.4, а);
- при соединении массивных деталей с тонкими вводят клиновые участки (рис. 8.4, б);
- для обеспечения точного относительного расположения соединяемых деталей предусматривают их взаимную фиксацию конструктивными элементами непосредственно на деталях либо используют специальные оправки. На рис. 8.4, в упор 1 удерживает днище 2. На рис. 8.4, г фланец 4 зафиксирован относительно трубы 3 в поперечном и осевом направлениях благодаря проточке на трубе.

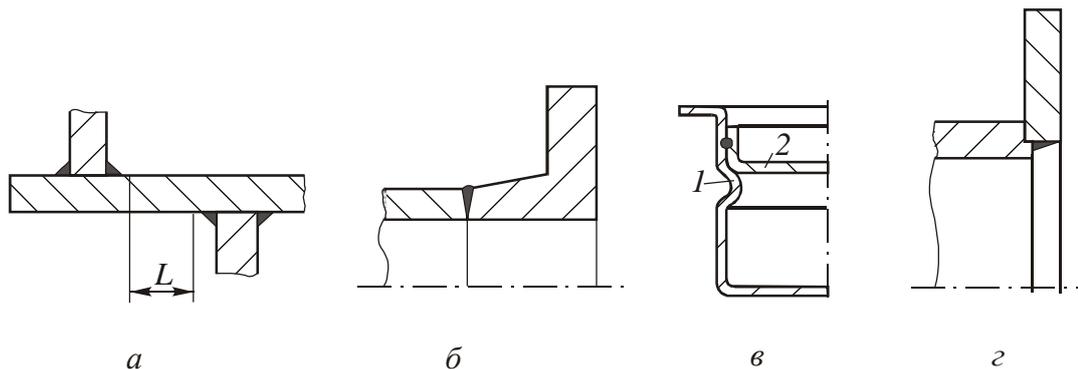


Рис. 8.4. Сварные соединения

Паяные соединения. Методами высокотемпературной пайки (капиллярной, диффузионной, контактно-реактивной, металлокерамической) получают неразъемные соединения со свойствами, близкими к свойствам основных материалов, и прочностью, превышающей прочность сварных соединений.

Паяные соединения выполняют стыковыми, нахлесточными и телескопическими. Для высококачественной пайки предусматривают между соединяемыми деталями зазор в пределах 0,05-0,15мм.

Прочность при срезе составляет $(0,8 - 0,9) \sigma_{\text{с}}$, где $\sigma_{\text{с}}$ – временное сопротивление припоя.

У припоев на основе олова с добавлением серебра, сурьмы, меди $\sigma_{\text{с}} = 32...45$ МПа,

медно – цинковые припои имеют $\sigma_{\text{с}} = 210...340$ МПа, а у припоев на основе соединений

медь – никель или медь – никель – марганец $\sigma_{\text{с}} = 200...240$ МПа.

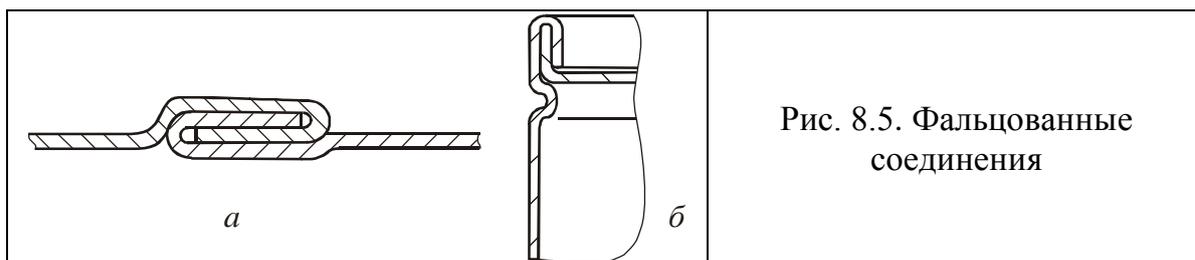
Клеевые соединения. Для клеевого соединения применяют клеящий материал на основе синтетических материалов, обеспечивающий надежное склеивание металлов и других конструкционных материалов.

Клеевые соединения прочнее заклепочных и сварных соединений при работе на срез, но обладают невысокой теплостойкостью (не выше 300°C) и со временем теряют свои свойства.

Прочность клеевого соединения пропорциональна площади склеивания. Например, нахлесточное соединение после выдержки в течение 60 суток при использовании эпоксидного клея характеризуется прочностью на сдвиг 19,6 МПа, при использовании поливинилацетальфенового клея - 25,2 МПа, при использовании фенолонитрилкаучукового клея - 33,6 МПа.

Соединения пластическим деформированием. Пластическим деформированием соединяют, как правило, тонкостенные детали емкостей, кожухов и трубопроводов из пластичных материалов.

Распространены фальцованные соединения тонкостенных деталей путем совместного загибания кромок. На рис. 8.5, а фальцованное соединение плоских листов, на рис.8.5, б – соединение бортов цилиндрической емкости.



Армирование. Целью армирования является упрочнение материала или конструкции другим материалом путем их неподвижного и, как правило, неразъемного соединения. Например, композиционные материалы содержат в качестве армирующего каркаса высокопрочные непрерывные волокна.

Армирование часто применяют при конструировании деталей из легких сплавов и пластмасс. Его используют, когда требуются местная высокая контактная прочность, большое сопротивление сдвигу (срезу).

В качестве арматуры применяют детали из стали, латуни, бронзы, керамики и стекла. Армирование позволяет увеличить жесткость и точность деталей, повысить износостойкость, препятствует усадке пластмассы.

На рис. 8.6, *а* показана стальная втулка с глухим отверстием и резьбой, установленная в пластмассовую деталь; на рис.8.6, *б* – винт, закрепленный одним концом в пластмассовой детали.

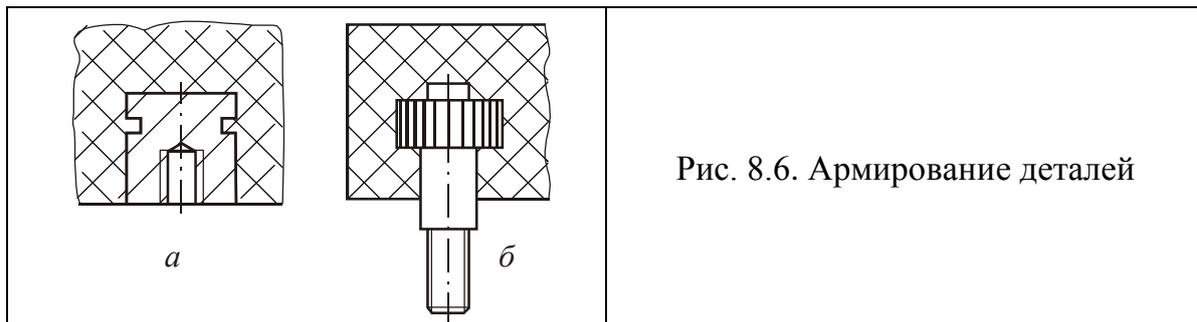


Рис. 8.6. Армирование деталей

Заклепочные соединения. Различают силовое прочное и силовое плотное заклепочное соединения. Последнее наряду с восприятием сил обеспечивает герметичность соединения. Заклепочное соединение осуществляют с помощью заклепок разнообразных исполнений (рис. 8.7). Обычно заклепка имеет закладную головку 1 (рис. 8.7, *а*), выполненную заранее, и замыкающую головку 2, формируемую при клепке.

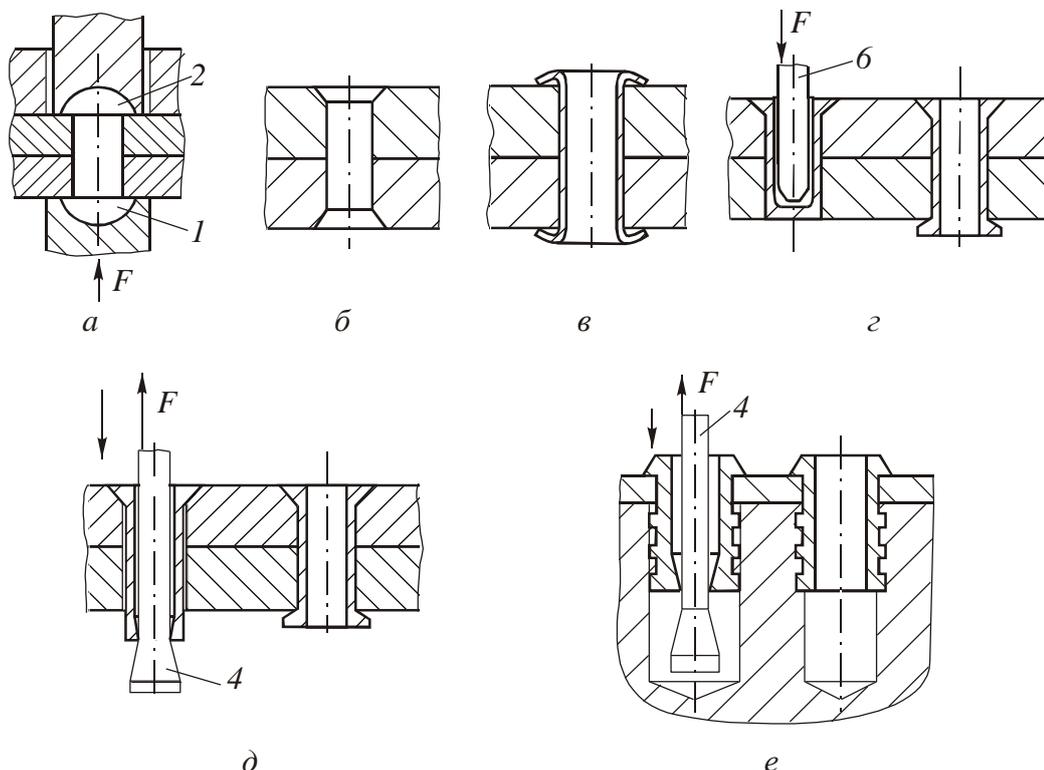


Рис. 8.7. Заклепки

Заклепки имеют полукруглые выступающие (рис.8.7, *а*) или потайные (рис. 8.7, *б*) головки. Пистонные заклепки (рис.8.7, *в*) изготавливают из тонкостенных трубок толщиной 0,2 – 0,5 мм и используют для крепления кожи, ткани, пластмасс и других мягких материалов. Закладочную заклепку (рис. 8.7, *г*) используют в случаях, когда подвести клепальный инструмент с обеих сторон невозможно. Дорн 3 пробивает перегородку в заготовке и тем самым формирует головку с обратной стороны.

На рис. 8.7 показаны варианты заклёпок для односторонней постановки. Заклепку вставляют в отверстие с одной стороны вместе с инструментом. Втягивая утолщенную часть инструмента 4 (см. рис. 8.7, *д*) в направлении силы *F* в пустотелую заклепку, развальцовывают ее.

На рис. 8.7, е приведена схема постановки заклепки в глухом отверстии. Заклепка имеет гребенчатый хвостовик. При протягивании через отверстие инструмента 4 заклепка деформируется, а гребенки внедряются в материал соединяемой детали.

Резьбовые соединения. Соединения деталей с помощью резьбы обеспечивают относительную неподвижность соединяемых деталей или заданное перемещение одной детали относительно другой.

При выборе конструкции резьбового соединения наряду с традиционными решениями используют гайки, запрессованные в тело одной из соединяемых деталей (рис. 8.8). Это особенно целесообразно при соединении деталей из материалов, обладающих сравнительно невысокой прочностью. В таких конструкциях обеспечивают предохранение резьбового соединения от самоотвинчивания путем обжатия участка резьбы. На рис. 8.8 вверху показано начальное положение деталей перед запрессовкой, внизу – после запрессовки.

Для предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания существует целый ряд конструктивных приемов.

Предохранение от самоотвинчивания осуществляют с помощью фиксирующих устройств за счет увеличения сил трения или с помощью стопорных устройств за счёт введения дополнительных деталей, работающих на срез или изгиб.

Штифтовые соединения. Для удержания деталей от относительного перемещения в основном в плоскости стыка применяют соединение с помощью штифта – цилиндрического или конического стержня.

Соединение может быть с радиальным штифтом (рис.8.9, а), с продольным штифтом (рис.8.9, б), соединяющим фланец и вал со ступицей подобно шпонке.

Штифты могут быть цилиндрическими или коническими. Конические штифты втягиваются в отверстие и стопорятся в нем гайкой.

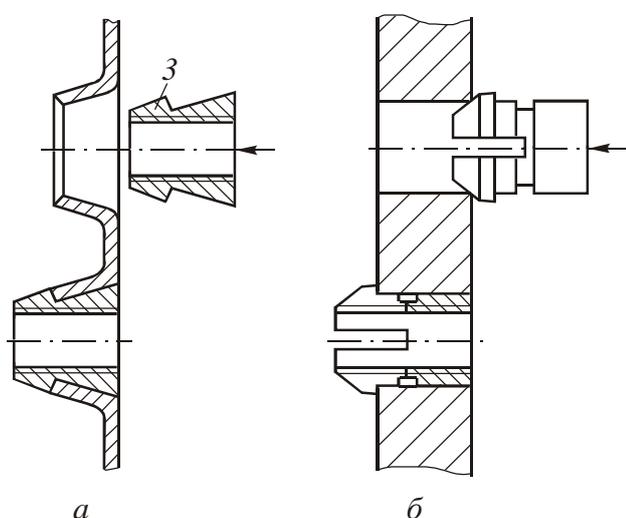


Рис.8.8. Резьбовое соединение: варианты установки гаек

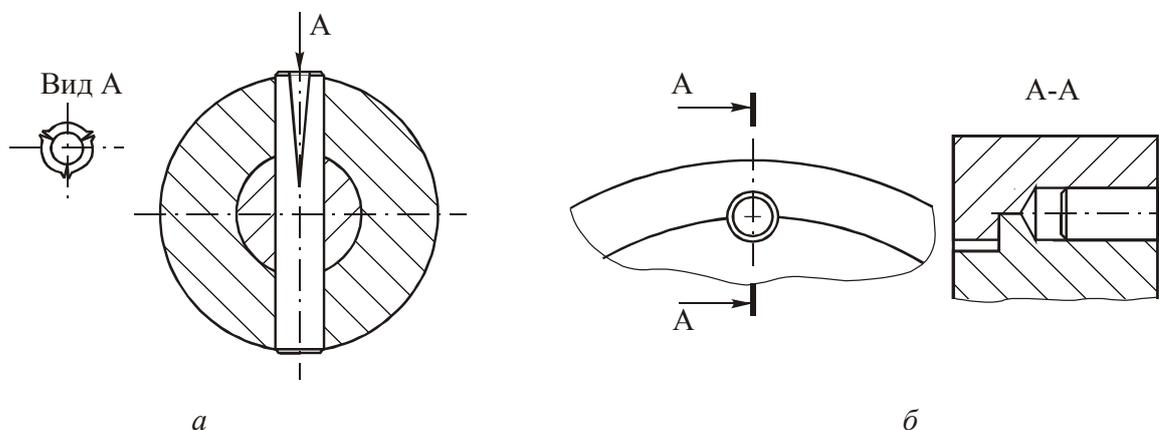


Рис.8.9. Штифтовые соединения

Применяют также штифты для точного ориентирования одной детали относительно другой. В нижнюю деталь штифт устанавливают с натягом, а выступающий конец, имеющий заходную поверхность, входит в отверстие другой детали по посадке $\frac{H7}{j_6}$ или

$$\frac{H7}{h6}$$

Упругие соединения. Сборка и разборка, а также в отдельных случаях и удержание в собранном состоянии деталей упругого соединения осуществляется благодаря упругости одного или нескольких элементов (деталей).

Как правило, упругое соединение характеризуется простотой конструкции, позволяет быстро осуществлять сборку. Но оно обычно не обеспечивает точного относительного положения деталей и имеет невысокую нагрузочную способность.

На рис. 8.10, а изображен «зажим лира» для быстрой сборки и разборки соединения деталей, точность расположения которых невысокая. Деталь 2 в виде тонкого упругого листа прикреплена к жесткому кронштейну 1. Деталь 3 опускают между усиками детали 2, и она фиксируется благодаря упругости листа.

Показанный на рис. 8.10, б подшипник 5 установлен в корпусе 4. Его вертикальное перемещение предотвращается упругим элементом 6, который вставляется нажатием сверху в пазы, расположенные в корпусе.

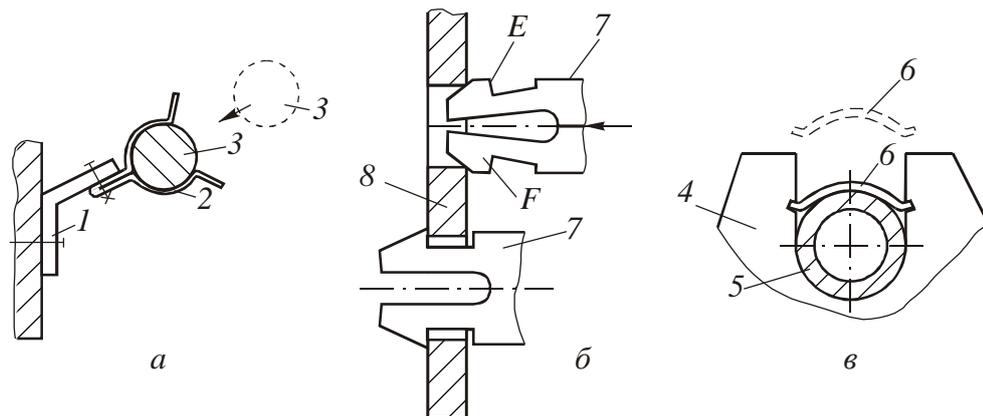


Рис. 8.10. Упругие соединения

В соединении, показанном на рис. 8.10, в, деталь 7 имеет прорезь, благодаря чему при введении ее в отверстие детали 8 выступы *E* и *F* сближаются, проходят сквозь отверстие, а затем благодаря упругости расходятся и удерживают деталь 7 в отверстии.