

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Технология машиностроения»

621.757(07)  
М 801

И.М. Морозов, В.Ю. Шамин

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

Компьютерная версия

Издание второе, переработанное и дополненное



Челябинск  
2006

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Технология машиностроения»

621.757(07)  
М 801

И.М. Морозов, В.Ю. Шамин

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

Компьютерная версия

Издание второе, переработанное и дополненное

Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2006

УДК 621.757.Ш75.8)

И.М. Морозов, В.Ю. Шамин. Основы технологии сборки в машиностроении: Учебное пособие. Компьютерная версия. — 2-е изд., перер. и доп. — Челябинск: ЮУрГУ, 2006. — 72 с.

© И.М. Морозов и др., 1981. — Изд-во Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Настоящее учебное пособие разработано в соответствии с программой Федерального агентства по образованию для студентов машиностроительных специальностей МТ, АТ и факультетов, и является руководством при изучении курса "Технология машиностроения". Учебное пособие может быть использовано также и при чтении общей части курса технологии для других специальностей с соответствующим сокращением объема лекционных часов.

Ил. 31, табл. 1, список лит. — 12 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией механико-технологического факультета.

Рецензенты: Ф.Я.Корчмарь, Б.Н.Свалов

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МАШИН	
1.1. Машина как объект сборочного производства . . . . .	4
1.2. Элементы производственного и технологического процесса .	5
2. ТОЧНОСТЬ СБОРКИ И МЕТОДЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
2.1. Точность сборки и надежность машин . . . . .	7
2.2. Методы сборки . . . . .	9
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ	
3.1. Основы проектирования техпроцесса сборки . . . . .	10
3.2. Исходные данные для проектирования техпроцесса сборки .	12
3.3. Разработка технологического процесса сборки . . . . .	13
4. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ К СБОРКЕ	
4.1. Слесарно-пригоночные работы при сборке . . . . .	17
4.2. Мойка деталей . . . . .	23
5. КЛАССИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ . . . . .	21
6. СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
6.1. Сборка резьбовых соединений . . . . .	23
6.2. Сборка шпоночных соединений . . . . .	26
6.3. Сборка шлицевых соединений . . . . .	28
6.4. Сборка неподвижных конических соединений . . . . .	28
6.5. Сборка неподвижных соединений с применением пластмассовых компенсаторов . . . . .	32
7. СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
7.1. Сборка соединений с гарантированным натягом . . . . .	30
7.2. Сборка соединений, получаемых развальцовыванием . . . . .	36
7.3. Сборка заклёпочных соединений . . . . .	36
7.4. Сборка соединений сваркой, пайкой, склеиванием . . . . .	38
8. СБОРКА ТИПОВЫХ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ	
8.1. Сборка составных валов и муфт . . . . .	40
8.2. Сборка с подшипниками скольжения . . . . .	41
8.3. Сборка соединений с подшипниками качения . . . . .	43
8.4. Сборка соединений по плоским поверхностям . . . . .	46
8.5. Сборка подвижных конусных соединений . . . . .	47
8.6. Сборка зубчатых и червячных передач . . . . .	48
8.7. Балансировка деталей и узлов . . . . .	51
8.8. Сборка маховиков и шкивов с валами . . . . .	53
9. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОСЛЕСБОРОЧНЫХ РАБОТ	
9.1. Контроль качества изделий . . . . .	54
9.2. Окраска сборочных единиц и изделий . . . . .	55
9.3. Консервация и упаковка изделий . . . . .	57
10. ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ	
10.1. Организационные формы сборки . . . . .	57
10.2. Оборудование сборочных цехов . . . . .	59
11. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ РАБОТ . . . . .	62
11.1. Автоматизированные линии сборки узлов машин . . . . .	63
11.2. Средства автоматического контроля сборки . . . . .	64
11.3. Автоматизация проектирования технологических процессов сборки . . . . .	65
12. АНАЛИЗ И ОТРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ И ЕГО СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ . . . . .	66
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	72

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МАШИН

## 1.1. Машина как объект сборочного производства

Объектами производства машиностроительной промышленности являются различные машины.

Машина — это изделие, осуществляющее целесообразные движения для преобразования энергии или производства работ.

Предметы труда в процессе их производства на машиностроительном предприятии называются изделиями.

Изделие — это предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Стандартами установлены следующие виды изделий.

Деталь — это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Узел (сборочная единица) — это часть изделия, которая собирается отдельно и в дальнейшем участвует в процессе сборки как одно целое. Применительно к сборке узел — это сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями.

Агрегат — это сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно.

Объектами производства машиностроительных предприятий, кроме машин и их частей, могут быть КОМПЛЕКСЫ и КОМПЛЕКТЫ изделий.

Комплекс — это два и более специфицированных (состоящих из двух и более составных частей) изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Например: автоматическая линия, цех — автомат, станок с ЧПУ с управляющими панелями и т.п.

Комплект — это два и более двух изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Например: комплекты запасных частей, инструмента и принадлежностей, измерительной аппаратуры, упаковочной тары и т.п.

Изделия в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей делят на следующие категории:

1) НЕСПЕЦИФИЦИРОВАННЫЕ (детали) — не имеющие составных частей;

2) СПЕЦИФИЦИРОВАННЫЕ (сб. единицы, комплексы, комплекты), состоящие из двух и более составных частей.

Заключительным этапом в изготовлении изделия является сборка.

Сборка — это процесс образования разъемных или неразъемных соединений составных частей или изделия в целом. Сборку разделяют на узловую сборку и общую сборку.

Узловая, сборка — это сборка, объектом которой является составная часть изделия.

Общая сборка — это сборка, объектом которой является изделие в целом.

Изготовление современных машин требует четкой организации технологического процесса сборки при тщательной технологической подготовке производства.

## 1.2. Элементы производственного и технологического процесса

Производственный процесс — это совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий.

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Применительно к условиям машиностроительного производства, технологический процесс — это часть производственного процесса, включающая в себя последовательное изменение размеров, формы, внешнего вида или внутренних свойств предмета производства и их контроль.

Технологический процесс сборки как узловой, так и общей делят на отдельные операции.

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Применительно к сборке операцию можно характеризовать как законченную часть технологического процесса, выполняемую над данным изделием или его сборочной единицей одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте.

Сборочную операцию делят на переходы.

Технологический переход — законченная часть технологической операции сборки, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых при сборке.

Установ — часть технологической операции сборки, выполняемая при неизменном закреплении собираемой сборочной единицы.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Рабочий ход — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно предмета труда, сопровождаемого изменением формы, размеров, свойств предмета труда.

Вспомогательный ход — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента, относительно предмета труда, не сопровождаемого изменением формы, размеров, свойств предмета труда, но необходимого для подготовки рабочего хода.

Вспомогательный переход — это законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров, и особых свойств предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Приём — это законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

Содержание работ, связанных с выполнением сборочных операций зависит от типа сборочного производства.

Тип сборочного производства (единичное, серийное, массовое) оказывает большое влияние на технологию и организацию процесса сборки в машиностроении.

Единичное и мелкосерийное сборочное производство характеризуется:

- обширной номенклатурой изделий;
- отсутствием установившейся технологии сборки;
- широким использованием универсального оборудования и инструментов;
- наличием высококвалифицированных рабочих;
- большим объёмом пригоночных работ.

В крупносерийном производстве объём работ по сборке расчленяется на составные части, выделяется узловая и общая сборка. Значительно уменьшается объём пригоночных работ. Изделия собирают сериями, повторяющимися через определенные промежутки времени.

В массовом производстве сборка одноименных изделий ведется непрерывно. Имеется четкое разделение на узловую и общую сборку. За каждым рабочим местом закреплены определенные сборочные операции. Время выполнения одной сборочной операции согласовывают с общим темпом сборки. Разрабатываются подробнейшие узловые техпроцессы и техпроцесс общей сборки. Оборудование располагается по потоку в соответствии с технологией сборки. Пригоночные работы, как правило, отсутствуют. Квалификация рабочих ниже, чем в единичном и серийном производстве.

В структуру сборочной операции в общем случае входят: подача деталей; их ориентация относительно друг друга или какой-либо одной детали; соединение; закрепление; снятие собранного узла и, наконец, контроль (возможно и наоборот — контроль, а потом снятие узла или подача его на следующую позицию сборки).

В составе технологического процесса сборки изделия в общем виде выделяют следующие основные виды работ:

подготовительные работы (деконсервирование, сортирование по размерам, укладка в соответствующую тару);

пригоночные;

собственно сборочные;

регулирующие;

контрольные;

заправочные работы (смазка, консервирование и т.д.);

демонтажные.

Как видно из данного перечня, в технологическом процессе сборки изделия имеются технологические сборочные и вспомогательные работы. К первым относят те работы, которые имеют непосредственное отношение к сборке и выполняются в сборочном цехе (собственно сборочные, регулировочные, контрольные, заправочные, демонтажные). К вспомогательным работам относят подготовительные и пригоночные работы.

Деление сборочного техпроцесса на операции требует такой организации переходов, чтобы по оперативному времени они были бы равны или кратны между собой, а при массовой поточной сборке равнялись бы или были кратны такту сборки.

## 2. ТОЧНОСТЬ СБОРКИ И МЕТОДЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 2.1. Точность сборки и надежность машин

Точность сборки — один из важнейших технико-экономических показателей качества машин. Параметры, характеризующие точность как машины в целом, так и её конструктивных и сборочных элементов, устанавливаются, исходя из служебного назначения изделия.

Точность сборки — степень совпадения материальных осей, контактирующих поверхностей или иных элементов сопрягающихся деталей с положением их условных прототипов, определяемым соответствующими размерами на чертеже или техническими требованиями.

К основным показателям точности сборки относят: точность относительного движения исполнительных поверхностей; точности их геометрических форм и расстояний между этими поверхностями; точность их относительных поворотов.

Точность машины является функцией точности составляющих её частей — деталей, узлов и их соединений.

Величиной противоположной точности сборки является погрешность сборки.

Погрешность сборки вызывается:

погрешностями размеров, формы и взаимного расположения поверхностей сопрягаемых деталей;

некачественной обработкой сопрягаемых поверхностей, что ведёт к снижению жесткости стыков и нарушению герметичности;

неточной установкой и фиксацией сборочных единиц в процессе сборки;

некачественной пригонкой и регулировкой сопрягаемых сборочных единиц изделия;

нарушениями условий и режимов выполнения сборочных операций;

геометрическими неточностями сборочного оборудования;

приспособлений и инструментов;

неточной настройкой оборудования;

деформациями деталей под действием остаточных напряжений в их материале.

Если погрешность сборки превышает заданную величину, то это приводит к снижению качества сборки, а значит и качества изделия в целом.

Сопряжения деталей, образуемые в процессе сборки изделия, могут быть неподвижными или подвижными. Степень подвижности (неподвижности) сопряжения деталей зависит от величин зазоров (натягов), получаемых при сборке, или, иначе, от величин отклонений размеров сопрягаемых деталей. Таким образом, точность сборки закладывается конструктором при разработке изделия, а обеспечивается технологиями получения деталей и сборки.

От точности сборки зависит качество машины. Под качеством понимается совокупность свойств изделия, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с его назначением.

Качество машины характеризуется определенной системой показателей, учитывающих её назначение и регламентируемых стандартами. При этом степень совершенства машины, выражающая ее мощность, КПД, производительностью и экономичностью, степенью автоматизации, точностью работы и другими показателями, определяет общий технический уровень машины.

Для общей оценки качества машины большое значение имеет её работоспособность, под которой понимается такое состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах установленных нормативно-технической документацией. Одной из основных характеристик машин является их надежность.

Надежность — это свойство изделия сохранять во времени свою работоспособность. Главным показателем надежности является наработка до отказа.

Наработка до отказа — это время работы изделия до отказа, выраженное в часах.

Срок службы (ресурс) — это время работы изделия до предельного регламентируемого износа.

Безотказность — это свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого периода времени или некоторой наработки. Это предполагает самостоятельную непрерывную работу изделия без вмешательств и для поддержания работоспособности (т.е. без регулировки и ремонта).

Долговечность — это свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т.е. в течение всего периода эксплуатации при установленной системе, технического, обслуживания и ремонтов.

Таким образом, надежность изделия — это обобщенное свойств, которое включает в себя понятия безотказности и долговечности.

## 2.2. Методы сборки

Взаимосвязь деталей и сопряжений изделия определяется на основе выявления и анализа размерных цепей. Эта работа выполняется на стадии проектирования изделия или его составных частей. Перенос этой работы на период технологической подготовки производства нерационален. В процессе размерного анализа может возникнуть необходимость внесения изменений в конструкцию изделия, а это сопряжено с затратами. Поэтому, чем раньше эти изделия будут сделаны, тем меньше будут затраты.

Технолог встречается с необходимостью расчета размерных цепей в период отработки конструкции изделия на технологичность, в размерном анализе при проектировании технологии сборки в связи с выявлением неуказанных на чертежах зазоров, при определении размеров компенсирующего звена.

Основные задачи размерного анализа следующие.

1. Расчет номинальных размеров и допусков сборочных единиц изделия.
2. Изыскание наиболее рационального метода достижения требуемой точности изделия или его составных частей.
3. Изучение взаимосвязи сборочных единиц изделия.
4. Разработка последовательности комплектации.

Правильное выполнение размерного анализа на основе различных методов решения размерных цепей позволяет обеспечить заданную точность изделия и его составных частей.

Необходимая точность сопряжений и в целом изделия может быть обеспечена методами полной и неполной взаимозаменяемости. Метод неполной взаимозаменяемости реализуют:

- а) групповым подбором;
- б) регулированием;
- в) пригонкой.

Метод полной взаимозаменяемости применяют в крупносерийном и массовом производстве. При сборке этим методом происходит лишь соединение сопрягаемых деталей, изготовленных с размерами и допусками,

установленными по конструктивным соображениям. Детали для сборки этим методом изготавливают с малыми допусками (стоимость операций механической обработки деталей относительно высокая), поэтому точность сборки (замыкающего звена) обеспечивается автоматически.

Метод неполной взаимозаменяемости применяют в серийном и единичном производстве. Он характеризуется изготовлением деталей с большими допусками, вследствие чего точность сборки (замыкающего звена) обеспечивается не у всех собираемых изделий. Дополнительные затраты, связанные с исправлением бракованных изделий, компенсируются экономией, получаемой при изготовлении деталей с большими допусками.

Групповой подбор применяют в тех случаях, когда конструктивные допуски меньше технологических. Допуски сопрягаемых деталей делят на группы с соблюдением заданного конструктором среднего зазора или натяга. Сортировку деталей осуществляют в механических цехах, где их изготавливают, а затем доставляют их на сборку. Недостатком является необходимость создания увеличенного запаса деталей на сборке.

Регулирование применяемости в серийном производстве. На размеры сопрягаемых деталей назначают большие технологические допуски, а точность соединения достигается введением в размерную цепь дополнительного звена — компенсатора. Преимуществами являются возможность изготовления сопрягаемых деталей с большими допусками, простота сборки, высокая точность, возможность регулирования не только при сборке, но и в эксплуатации.

Пригонка заключается в том, что необходимая точность сопряжения достигается индивидуальной пригонкой одной детали по другой. Пригонку применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

#### 3.1. Основы проектирования техпроцесса сборки

При проектировании сборочных процессов учитывают ряд требований, обусловленных конструкцией изделия, технологическими особенностями производства и его организацией. К этим требованиям относятся:

1. Объем выпуска изделий. Вид сборочного процесса в значительной степени определяется объемом выпуска изделий. Например, уровень механизации и автоматизации сборочного процесса, виды применяемого инструмента и приспособлений лимитируются типом производства (единичное, серийное, массовое).

2. Максимальное обеспечение требований конструкции. Удовлетворение этому условию в основном зависит от технологичности самого изделия в сборке. Технологичной считается такая конструкция, которая обеспечивает сборку наиболее прогрессивными в данных производственных условиях методами, в более короткое время и с наименьшей стоимо-

стью. При определении технологичности изделия рассматривают следующие вопросы:

а) обеспечение сборки без пригоночных работ (или при минимальном объеме этих работ);

б) доступность в использовании рабочих и измерительных инструментов;

в) возможность независимой сборки составных частей изделия;

г) наличие наиболее короткой кинематической цепи;

д) рациональные присоединительные связи;

е) наименьшее количество деталей и их видов;

ж) высокий уровень взаимозаменяемости;

з) стандартизация, унификация, нормализация сборочных единиц;

и) наличие удобных сборочных баз;

к) исключение разборок при регулировании.

3. Обеспечение запроектированной точности основных параметров изделия. Точность собранного изделия зависит от точности замыкающих звеньев размерных цепей. Понятия конструктивной и технологической точности не совпадают. Точность конструкции выявляется на основе расчета размерных цепей. Технологическая точность характеризуется производственными погрешностями при механической обработке и сборке. Технологическая точность сборки должна удовлетворять запроектированной точности выходных параметров изделия.

4. Уровень механизации и автоматизации сборки. Уровень механизации и автоматизации может существенно изменить структуру сборки, и даже последовательность выполнения отдельных ее операций. Численно уровень автоматизации и механизации определяют по следующим формулам:

$$\alpha_a = \frac{T_{м.а.}}{T_{шт.}} ; \quad \alpha_m = \frac{T_{м.а.} + T_{м.р.}}{T_{шт.}} , \quad (1 \text{ и } 2)$$

где  $\alpha_a$  — показатель уровня автоматизации;

$\alpha_m$  — показатель уровня механизации;

$T_{м.а.}$  — сумма машинно-автоматического времени, затрачиваемого на всех стадиях сборки;

$T_{м.р.}$  — сумма машинно-ручного времени;

$T_{шт.}$  — штучное время на сборку.

5. Дифференциация процесса сборки, специализация участков и рабочих мест. Под дифференциацией процесса сборки понимают его расчленение на операции, переходы и приемы. Возможность осуществления дифференциации в основном зависит от конструкции изделия, уровня технологии и организации производства на данном предприятии. При диффе-

ренциации процесса сборки появляется возможность для специализации участков и рабочих мест.

Обычно с помощью дифференциации процесса сборки добиваются равенства (или кратности) объёмов работ, выполняемых на разных операциях, т.е. добиваются синхронности операций.

6. Параллельность процессов сборки. Под этим принципом понимают одновременное выполнение отдельных составляющих технологического процесса сборки (операций, переходов и др.). Возможность такой работы обусловлена конструкцией изделия и, следовательно, степенью расчленения его на самостоятельные сборочные единицы (узлы, подузлы и т.д.), которые могут собираться одновременно и независимо друг от друга.

7. Приемлемость процессов сборки. Это значит построить процесс сборки так, чтобы собираемое изделие проходило кратчайший путь при выполнении всех сборочных операций.

8. Непрерывность технологического процесса сборки. Под этим требованием понимают такую организацию сборки, при которой устраняются (либо значительно уменьшаются) перерывы в производстве данного изделия. Устранение межоперационных перерывов лучше всего обеспечивает разработка конструкции изделия, в которое входят узлы и детали, получаемые наиболее прогрессивными методами. Перерывы на отдельных операциях сокращают за счет перекрытия вспомогательного времени основным. Наибольшей непрерывностью обладает автоматическое производство.

9. Ритмичность технологического процесса сборки. При осуществлении этого требования стремятся в равные промежутки времени выпускать одинаковое количество, продукции. Через определенный ритмом промежуток времени полностью повторяют весь процесс сборки по всем операциям.

10. Устойчивость и надежность технологического процесса сборки. Это требование характеризуется способностью процесса сборки сохранять во времени точность признаков качества изделий.

В ряде случаев устойчивого процесса сборки получить не удастся или устойчивый процесс дает точность признаков качества изделия ниже заданной. В этом случае применяют способы компенсации погрешностей, например, регулировку,

### 3.2. Исходные данные для проектирования техпроцесса сборки

Основой для проектирования техпроцесса сборки изделия являются:

- 1) сборочные чертежи и чертежи общих видов сборочных единиц и изделия;
- 2) технические условия на приемку и испытания изделия;
- 3) производственная программа выпуска изделия предприятием, программы сборочных цехов;
- 4) спецификация сборочных единиц и деталей.

На сборочных чертежах должно быть столько проекций и разрезов, сколько необходимо для полного понимания конструкции сборочной единицы и изделия в целом.

На чертежах общих видов сборочных единиц должны быть указаны размеры, определяющие сборочные размерные цепи (взаимное расположение деталей), а также технические требования, относящиеся к сборке изделия.

Производственная программа сборки должна содержать наименование изделий и их сборочных единиц, их годовой выпуск, массу каждой сборочной единицы и изделия в целом.

В спецификациях должно быть указано наименование поступающих на сборку сборочных единиц и деталей, их номера, количество на одно изделие, цех-изготовитель.

### 3.3. Разработка технологического процесса сборки

Разработка технологического процесса сборки изделия ведется в три этапа:

- I — разработка технологической схемы сборки узла;
- II — разработка маршрутного технологического процесса сборки узла;
- III — сборка и разборка опытного образца изделия.

Технологическая схема сборки — это графическое отображение состава и последовательности сборки деталей в узлы. Она является первичным документом, дающим представление о процессе сборки.

Технологическая схема сборки:

- 1) отражает полную структуру, и порядок комплектования изделия во времени;
- 2) служит первым этапом проектирования линий сборки (планировки участков сборки);
- 3) позволяет из множества вариантов сборки выбрать оптимальный вариант;
- 4) способствует отработке изделия на технологичность;
- 5) значительно упрощает проектирование всего технологического процесса сборки.

Разработка технологической схемы сборки начинается с определения базовой детали (или узла) и деления изделия на узлы, подузлы и детали.

Базовым называют основной элемент (деталь, узел), с которого начинают сборку.

Различают подузлы первого, второго и других, более высоких порядков. Подузел первого порядка входит непосредственно в состав узла. Он состоит из деталей или из одного или нескольких подузлов второго порядка и деталей. Подузел второго порядка входит в состав подузла первого

порядка. Он расчленяется на детали или на подузды третьего порядка и детали и т.д. Подузел наивысшего порядка расчленяется только на детали.

На технологической схеме сборки (рис. 1) каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, поделенным на три части.

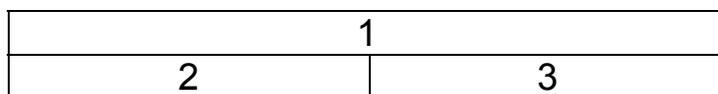


Рис. 1. Обозначение элементов изделия на технологической схеме сборки

В верхней части прямоугольника (1) указывают наименование элемента; в левой нижней части (2) — индекс элемента, а в правой нижней (3) — количество элементов. Индексацию деталей производят в соответствии с номерами, присвоенными им на сборочных чертежах

Узлы обозначают буквами "сб", что означает "сборка". Каждому узлу присваивают номер его базового элемента (индекс). Например, "сб. 3" — узел с базовой деталью № 3. Порядок узла указывают соответствующим цифровым индексом, который помещают перед буквенным обозначением "сб.". Например, "1 сб. 5" означает подгруппу 1-го порядка с базовой деталью № 5.

При построении технологической схемы сборки руководствуются следующим. Процесс сборки изделия и каждого из его узлов изображают участком прямой линии, которая начинается с изображения базового элемента (детали или узла) и заканчивается изображением узла или изделия. Над линией в порядке последовательности присоединяют прямоугольники, обозначающие все детали, а под ней изображают узлы, непосредственно входящие в изделие.

На схеме указывают также необходимые технологические примечания, например: "установить по шаблону", "приварить", "запрессовать", "сверлить в сборе", "смазать" и т.д.

Например, технологическая схема сборки для узла (рис. 2) представлена на рис. 3 (см. с. 14).

В узле вал-шестерня 12 вращается в шарикоподшипниках 6, 8 и от осевого перемещения фиксируется разрезной шайбой 5 и распорной втулкой 7. В собранном виде вал-шестерня закрепляется в корпусе 1 с помощью крышек 4 и 11. Кольцо 9 и прокладки 3, 10 препятствуют утечке смазки.

Маршрутный технологический процесс сборки — таблица, в которой в упрощенном виде, без указания переходов и режимов работы, установлено содержание операций, причём с таким расчетом, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась по возможности однородная по своему характеру к технологически законченная работа.

Маршрутный технологический процесс сборки узла представлен в таблице 1 (см. с. 15).

В процессе сборки и разборки опытного образца изделия определяется правильность разработанной технологической схемы сборки и маршрутного технологического процесса сборки. При этом устраняют замеченные ошибки, вносят изменения в последовательность сборки, дополняют технологические примечания и т.д.

Нормирование техпроцесса сборки осуществляется так же, как и нормирование операций механической обработки.

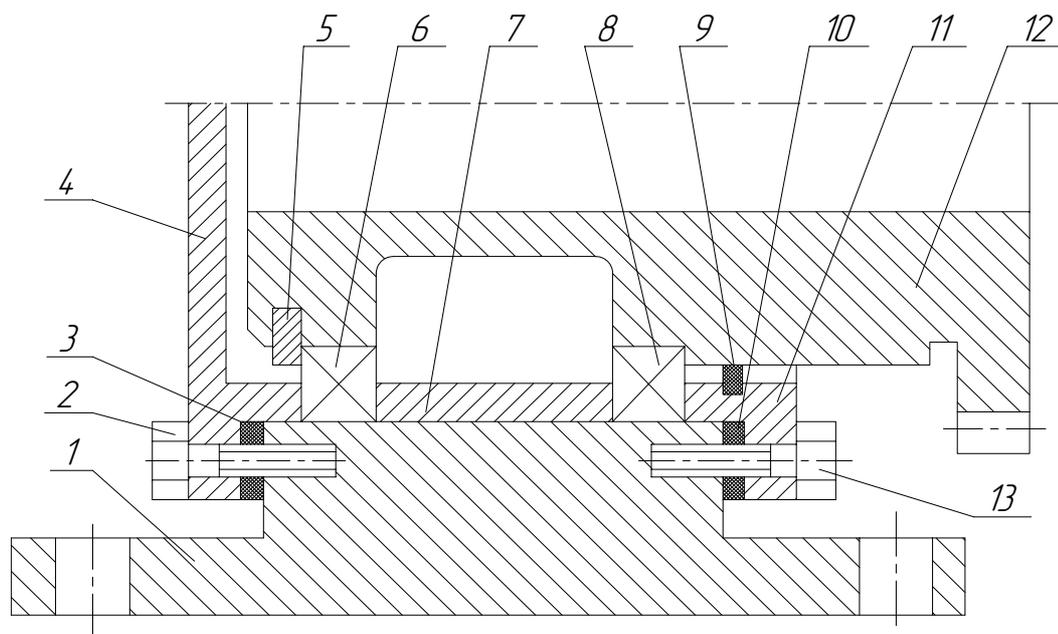


Рис. 2. Эскиз узла в сборе

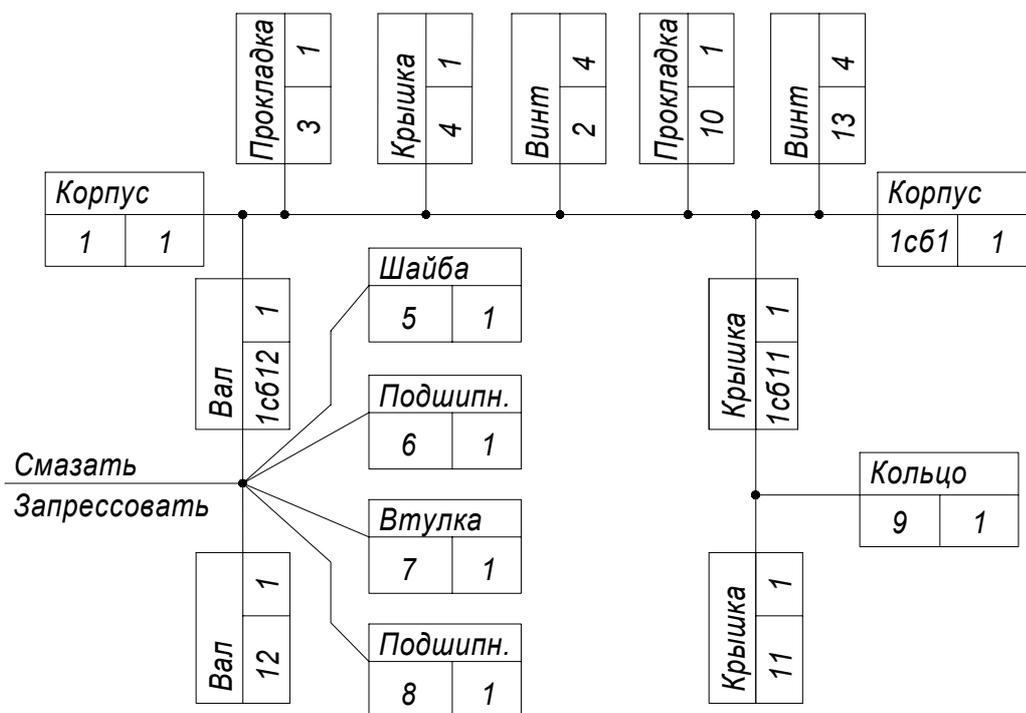


Рис. 3. Технологическая схема сборки узла

Таблица 1

Маршрутный технологический процесс  
сборки узла

№ операции	Наименование операции	Содержание операции	Оборудование и инструмент
05	Сборка вала (1 сб. 12)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрепить вал (дет. 12) в приспособление</li> <li>2. Смазать и запрессовать подшипник (дет. 8)</li> <li>3. Протереть и установить втулку (дет. 7)</li> <li>4. Смазать и запрессовать подшипник (дет. 6)</li> <li>5. Установить шайбу (дет. 5)</li> </ol>	<p>Приспособление для закрепления вала Пресс гидравлический</p> <p>Оправка для установки шайбы</p>
10	Сборка крышки (1 сб. 11)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1, Установить крышку (дет. 11) в приспособление</li> <li>2. Установить кольцо (дет. 9)</li> </ol>	<p>Приспособление для закрепления крышки Оправка для установки кольца</p>
15	Общая сборка узла (1сб. 1)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрепить корпус (дет. 1)</li> <li>2. Установить прокладку (дет. 3)</li> <li>3. Протереть и установить крышку (дет. 4)</li> <li>4. Закрепить кошку винтами (дет. 2)</li> <li>5. Установить вал (1 сб.12)</li> <li>6. Установить прокладку (дет. 10)</li> <li>7. Установить крышку (1 сб. 11)</li> <li>8. Закрепить крышку винтами (дет. 13)</li> </ol>	<p>Приспособление для закрепления корпуса</p> <p>Пневматическое устройство для закручивания винтов</p> <p>Пневматическое устройство для закручивания винтов</p>
20К	Контрольная	Проверить легкость вращения вала (дет. 12)	

Для нормирования сборочных работ используют общемашиностроительные, отраслевые и заводские нормативы времени, установленные для производств различных типов.

Маршрутный техпроцесс сборки оформляется по ГОСТ 3.1105-74, операционные карты — по ГОСТ 3.1407-74, карты технического контроля — по ГОСТ 3.1502-74, титульный лист альбома техпроцесса сборки — по ГОСТ 3.1104-74.

Альбом техпроцесса сборки оформляют следующим образом. После титульного листа идут маршрутные карты, за маршрутными картами помещают в технологической последовательности операционные карты (слесарных, слесарно-сборочных, электромонтажных работ), а в конце помещают карты технического контроля с необходимыми эскизами собираемых на данной операции сборочных единиц.

Операционные карты в альбоме включают в себя:

- а) эскиз собираемой на данной операции сборочной единицы;
- б) собственно операционные карты;
- в) комплектовочную карту (если она необходима).

## 4. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ К СБОРКЕ

### 4.1. Слесарно-пригоночные работы при сборке

Точность сборки на основе методов полной или групповой взаимозаменяемости обеспечивается в основном в условиях массового и крупносерийного производства. В единичном, мелкосерийном и в серийном производстве, где сосредоточено в настоящее время более 60% всего объема выпуска машин, в процессе сборки производится дополнительная пригонка деталей и узлов по месту. Таким образом, под пригонкой понимается дополнительная обработка сопрягаемой поверхности в процессе сборки для получения заданной посадки, геометрической точности и ее качества. Объем пригоночных работ в общей трудоемкости сборки до настоящего времени очень велик и составляет от 5...10% (в серийном производстве). И до 30...40% (в единичном производстве). Операции пригонки, как правило, очень трудоемки, требуют затрат труда высококвалифицированных рабочих. Поэтому актуальной задачей является сокращение объема и механизация пригоночных работ.

Наиболее распространенными видами пригоночных работ являются опилование, зачистка, притирка, полирование, шабрение, сверление отверстий по месту, развертывание отверстий, подторцовывание и гибка.

Опилование и зачистка имеют следующие разновидности: опилование плоскостей (подгонка шпонок, клиньев);

опилование сложных поверхностей (снятие фасок по контуру сложной детали);

опилование углублений, пазов, выступов (подгонка деталей при соединениях на шпонке).

Припуск при грубом опиливании 0,2...0,5 мм, при тонком опиливании — меньше — 0,2 мм.

Точность опиливания 0,01...0,05 мм, достижимая точность 0,005 мм.

Инструментами при опиливании и зачистке служат напильники, и абразивные бруски.

Механизация процесса опиливания и зачистки достигается применением верстачных или передвижных опилоочно-шлифовальных установок с гибким валом, обработка на которых выполняется напильниками или абразивными головками. Получили распространение станки для опиливания и зачистки абразивными лентами и механизированные машины с плоскими шлифующими подушками.

Притирка при сборке применяется с целью достижения точного размера (плунжерные пары топливной аппаратуры) или плотного прилегания поверхностей (клапаны двигателей внутреннего сгорания).

Притирку осуществляют вручную или с применением специальных притирочных станков. Для притирки оставляют небольшой припуск 0,01...0,02 мм.

Притирку выполняют в несколько этапов. Предварительную притирку осуществляют крупнозернистыми порошками, а чистовую — мелкозернистыми порошками с применением масла, керосина, технического сала.

Существует два способа притирки — притирка одной детали по другой и притирка каждой из деталей по притиру.

Первым способом выполняется притирка клапанов, заглушек, пробок, кранов и др. С помощью притиров производится доводка деталей топливной аппаратуры, крышек, фланцев и буртиков в плотных соединениях. Проверку притираемых поверхностей производят на краску. При хорошей притирке краска мелкими пятнами, равномерно распределяется по всей поверхности соприкосновения.

Полирование в процессе сборки обычно производят с целью уменьшения шероховатости поверхностей, подвергавшихся опиливанию или другой обработке.

Полирование производят вращающимися ( $V = 30...50$  м/с) полировальными кругами из войлока, фетра, кожи. На рабочую поверхность круга наносится мелкозернистый абразивный порошок, смешанный со смазкой.

Припуск на полирование — 0,005...0,007 мм.

Механизация полирования обычно осуществляется путем внедрения специальных полировочных станков. Там, где объём полировальных работ небольшой, применяют переносные или верстачные шлифовальные или сверлильные машинки.

Шабрение — метод отделочной обработки, состоящий в соскабливании шаберами тонких (около 0,005 мм) слоев металла для получения ровной поверхности после предварительной обработки её резцом, фрезой или другим режущим инструментом.

При шабрении инструментом постепенно срезается металл с участков поверхности детали, соприкасавшихся при пробе на краску с поверхностью, к которой пригоняется данная деталь.

Шабрение — трудоемкий и неэффективный процесс; тем не менее, в ряде производств он остается одним из способов получения необходимой точности.

В процессе сборки машин шабруют либо плоские поверхности деталей (плоскости разъема, направляющие), либо цилиндрические поверхности (вкладыши подшипников, втулки).

Припуски на шабрение зависят от размеров пришабриваемых поверхностей и требуемой точности. Точность 0,1 мм достигается при шабрении плоских поверхностей размером 100x500 мм. До 0,5 мм — при размерах 4000x1000 мм. От 0,03 мм — при шабрении отверстий диаметром до 80 мм и длиной до 100 мм. Точность до 0,2 мм достигается при диаметрах 200...300 мм и длиной до 300 мм.

Результаты шабрения определяют обычно или по краске или всухую — "на блеск".

Шабрение чугуна производят всухую. При шабрении стали и других материалов применяют мыльную эмульсию, керосин и др.

С целью снижения трудоемкости шабрение в последнее время заменяют более производительными методами обработки. Широкое распространение получило применение различных механизированных шаберов, а также шабровочных установок.

Шабрение охватывающих цилиндрических поверхностей в последнее время уступает место растачиванию, развертыванию и протягиванию.

Шабровочные работы при отделке плоскостей в тяжелом машиностроении и станкостроении с успехом заменяют чистовым строганием широкими резцами, тонким фрезерованием, шлифованием.

Сверление отверстий при сборке приходится выполнять тогда, когда требуемая точность сверления может быть достигнута лишь при совместной обработке двух или более деталей, соединяемых при сборке (см. с. 20, рис. 4). Для выполнения подобных операций в сборочных цехах устанавливаются сверлильные станки (настольные — для отверстий небольшого диаметра и на фундаменте).

Широко применяются в единичном и мелкосерийном производствах пневматические и электрические машины, которые для удобства в работе закрепляются в стойках или на жестких подвесках.

Развертывание отверстий производят при сборке в целях получения требуемой посадки в сочленении, либо для обеспечения соосности соединяемых отверстий.

Припуск на развертывание зависит от диаметра отверстия и колеблется от 0,03 до 0,3 мм.

Если при развертывании необходимо получить точные размеры и определенное положение осей отверстий, применяется кондуктор. Для

механизации процесса развертывания применяются также электрические и пневматические машины. Часто развертывание отверстий производится на сверлильных станках, если это позволяет конструкция детали.

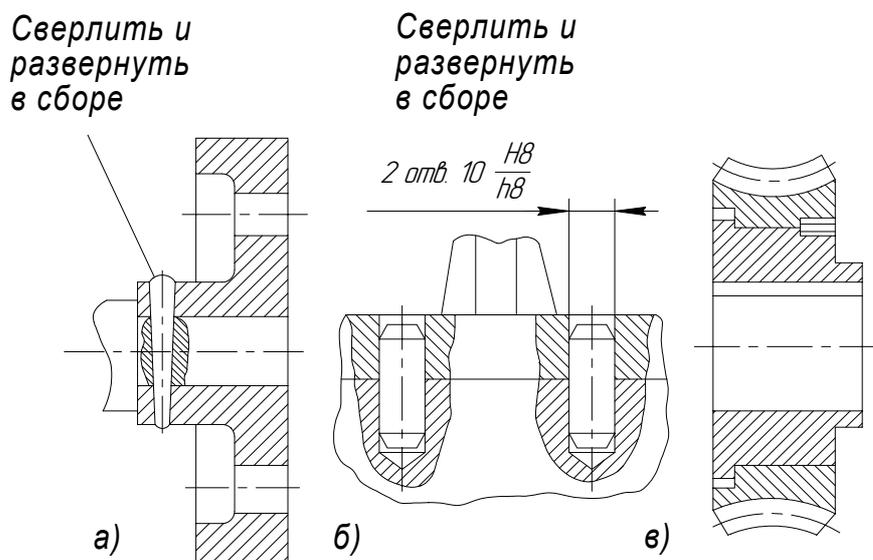


Рис. 4. Соединения, требующие совместного сверления отверстий при сборке

Подторцовывание в процессе сборки применяют для зачистки базовых плоскостей под опорные части фланцев, шайб, гаек, упоров, а также для подгонки размеров бобышек, втулок, штуцеров по высоте. Операции подторцовывания выполняются торцовыми и концевыми фрезами на сверлильных станках, а также ручными электрическими и пневматическими машинами.

Операция «Гибка» применяется в основном для придания необходимой конфигурации трубопроводам, которые встречаются во многих машинах.

Гибка труб вручную — малопроизводительная и тяжелая работа, зачастую не обеспечивающая необходимого качества. Поэтому там, где это, возможно, необходимо механизировать этот процесс.

Гибку труб осуществляют по принципу штамповки или по принципу обкатывания роликами (см. с. 21, рис. 5).

В первом случае (см. с. 21, рис. 5а) трубу укладывают в разъемный штамп-шаблон, установленный на прессе, и при опускании штока выгибают её в соответствии с формой ручья штампа-шаблона.

Во втором случае (см. с. 21, рис. 5б) обкатывающий ролик изгибает трубу вокруг неподвижного ролика-шаблона. Эта операция выполняется на специальных трубогибочных станках.

Трубы диаметром более 20 мм для предотвращения появления морщин и вмятин при изгибе гнут после наполнения их песком или расплавленной канифолью. Изгиб труб больших диаметров производился в горячем состоянии.

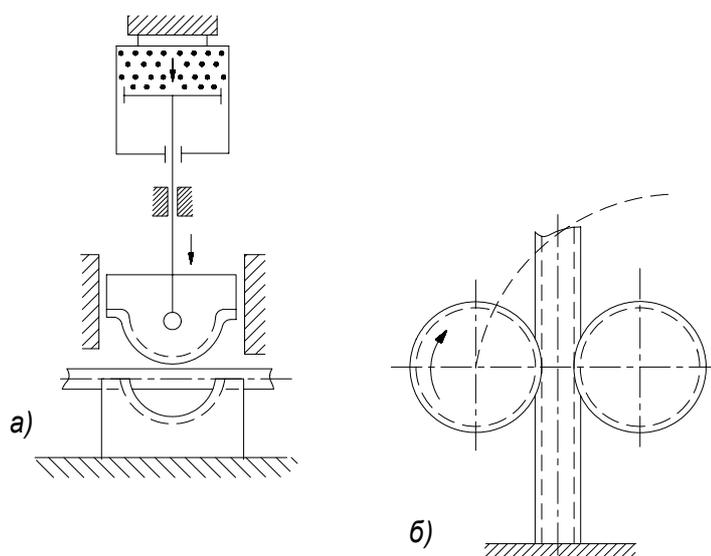


Рис. 5. Схемы гибки труб: а) по принципу штамповки; б) по принципу обкатывания

#### 4.2. Мойка деталей

Детали, поступающие на узловую и общую сборку, должны быть совершенно чистыми. Наличие на деталях остатков мелкой стружки, абразивов и др. загрязнений при эксплуатации машин может вызвать преждевременный износ ответственных деталей. Для предотвращения этого детали перед поступлением на сборку обязательно промываются.

Промывка может выполняться в моечных ваннах и машинах различной конструкции: тупиковых, проходных, одно- и двухкамерных.

В последнее время начинают все более широко применяться ультразвуковые моечные машины полуавтоматического действия, в которых происходит предварительная, чистовая промывка с использованием ультразвуковых колебаний, пассивирования и сушки деталей. Такие установки успешно работают на подшипниковых и других заводах.

В качестве моющих жидкостей применяют органические растворители (бензин, ацетон) или водно-щелочные растворы.

### 5. КЛАССИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ

Основным видом работ при сборке является выполнение различных соединений деталей. Сборку двух или нескольких деталей можно выполнить в виде неподвижного или подвижного их соединения.

Детали подвижных соединений имеют возможность перемещаться в рабочем состоянии одна относительно другой. Детали неподвижных соединений в рабочем состоянии перемещаться не могут. Подвижные и неподвижные соединения по возможности их демонтажа, кроме того, разделяются на разъёмные и неразъёмные соединения. Количество, разъёмных соединений в современных машинах составляет от 65 до 85% всех соединений. При этом под разъёмными соединениями подразумеваются те со-

единения, которые могут быть разобраны без повреждения соединяющих деталей. Неразъёмные соединения в процессе эксплуатации и ремонта могут иногда подвергаться разборке, хотя при этом часто одна или обе соединяющиеся детали оказываются непригодными к последующей сборке или же требуют специальных пригонок.

Таким образом, все сборочные соединения могут быть разделены (см.с. 23, рис. 6) на:

неподвижные неразъёмные соединения, которые осуществляются путем запрессовки, сварки, пайки, склеивания, развальцовки, а также заклепочные соединения;

неподвижные разъёмные (резьбовые, шпоночные, конусные, шлицевые соединения);

подвижные разъёмные (некоторые конусные соединения, зубчатые передачи, каретки-станины, цепные передачи);

подвижные неразъёмные (некоторые подшипники качения, запорные краны).

У каждой детали, участвующей в сборке, имеются сопрягаемые и несопрягаемые поверхности (см. с. 23, рис. 7). Первые — в процессе сборки соприкасаются с поверхностями других деталей, образуя соответствующие соединения. Но не все сопрягающиеся поверхности имеют одинаковое назначение. Так, поверхность «А» приводного вала (см. с. 23, рис.8) при соприкосновении с поверхностью подшипника обеспечивает определенность положения вала. Такая поверхность называется основной базой. Поверхность скольжения подшипника будет являться вспомогательной базой. Поверхность «Б» отверстия шкива является основной базой для этой детали, а сопрягающаяся с ней поверхность вала является вспомогательной базой. Таким образом, при сборке соединений основные базы одной детали опираются на вспомогательные базы другой.

Детали с базовыми поверхностями, выполняющие в собираемой составной части изделия роль соединительного звена, обеспечивающего при сборке соответствующее относительное положение других деталей, называются базовыми деталями. Применительно к общей сборке изделия, когда основными сборочными элементами будут уже собранные составные части, одна из них удовлетворяющая указанному требованию, называется базовой составной частью.

Сопрягающиеся поверхности типа «В» (см. с. 23, рис. 8) — поверхность шкива, соприкасающаяся с приводным ремнём, имеет свое основное назначение — выполнять рабочие функции. В зубчатых передачах к таким поверхностям относятся поверхности зубьев, в винтовых механизмах — поверхности резьбы и т.п. Такие поверхности называются функциональными. Остальные поверхности типа «Г» (рис. 8) являются несопрягаемыми. Они часто не подвергаются обработке.

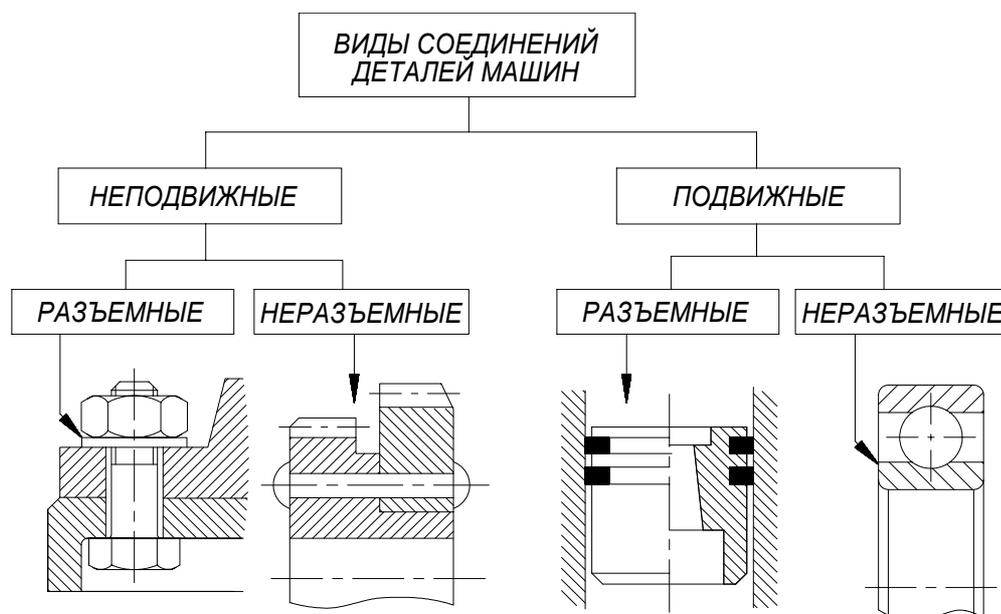


Рис. 6. Виды соединений деталей машин

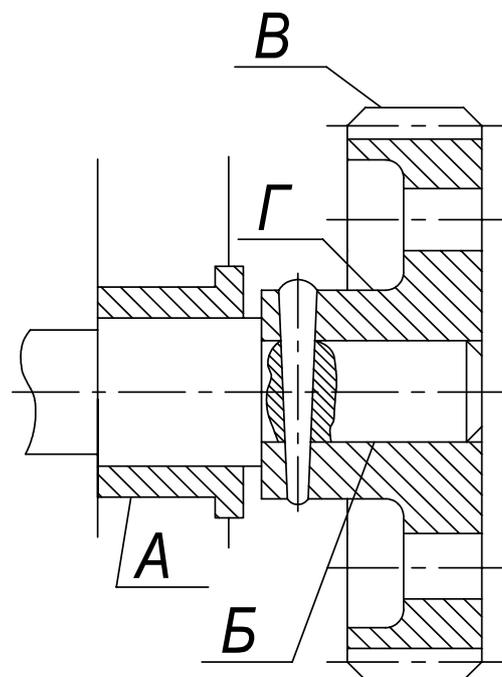
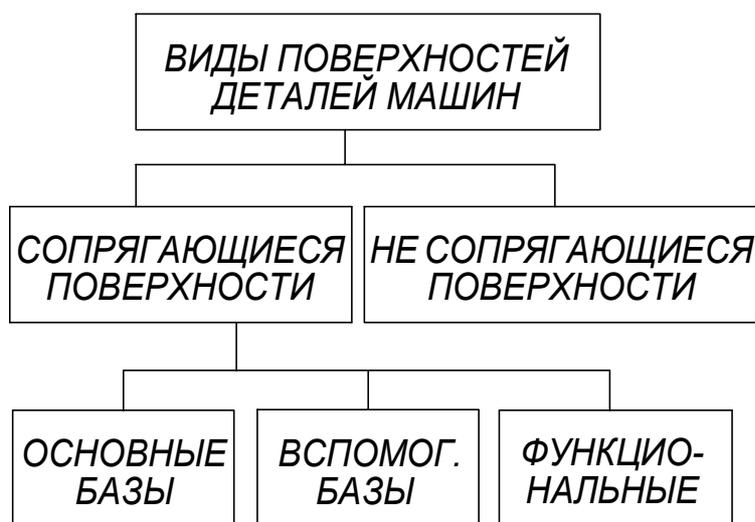


Рис. 7. Схема видов поверхностей деталей

Рис. 8. Виды поверхностей деталей

## 6. СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 6.1. Сборка резьбовых соединений

Среди разнообразных соединений деталей машин резьбовые соединения являются наиболее распространенными. Они составляют 15—25% от общего количества соединений.

Широкое распространение резьбовых соединений в конструкциях машин объясняется простотой и надёжностью этого вида креплений,

удобством регулирования затяжки, а также возможностью разборки и повторной сборки соединения без замены детали.

Трудоемкость сборки резьбовых соединений машин составляет 25...35% общей трудоемкости сборочных работ. При этом значительная доля затрат труда (50...60%) пока ещё остается недостаточно механизированной.

### 6.1.1. Постановка шпилек

Неподвижную посадку шпильки в тело детали обычно осуществляют одним из нижеуказанных способов (рис. 9).

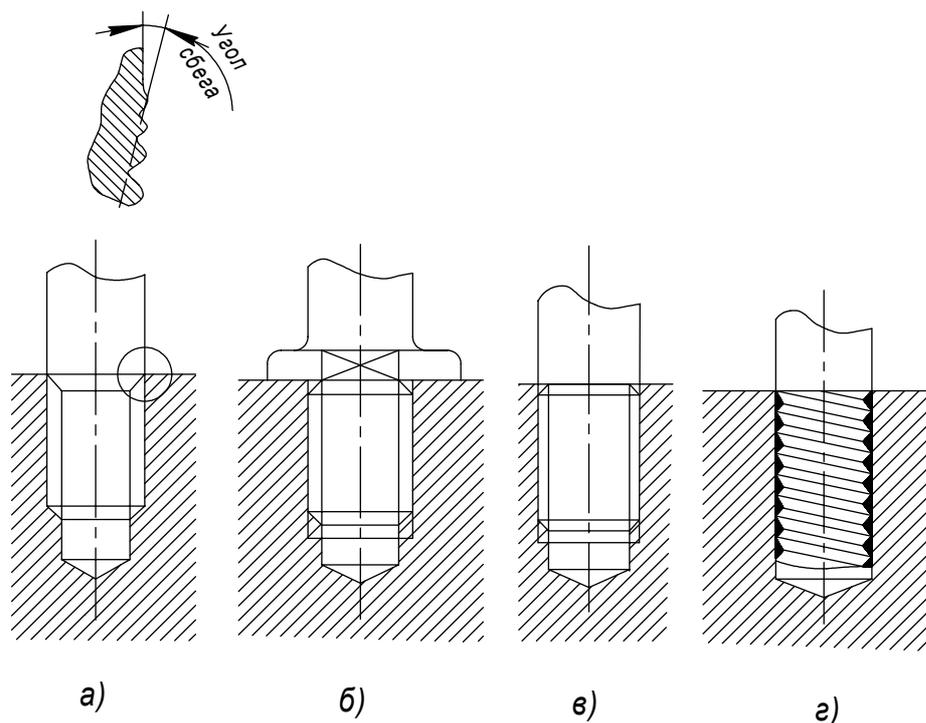


Рис. 9. Способы обеспечения неподвижности шпилек в корпусе

При первом способе (рис. 9а) шпилька идет достаточно свободно в гнездо вплоть до сбега, а при дальнейшем ее вращении создается натяг в витках сбега.

Во втором случае (рис. 9б) неподвижность обеспечивается за счет буртика; при уходе его в корпус в резьбе создается осевой натяг.

По третьему способу (рис. 9в) — путем создания натяга по среднему диаметру (радиальный натяг) всех витков. Для стальных шпилек с диаметром резьбы 10...30 мм при установке их в стальной корпус натяг выбирается в пределах 0,02...0,06 мм, в чугунный или алюминиевый корпус — 0,04...0,12 мм.

Иногда применяется постановка стальных шпилек в корпус из алюминиевого сплава без натяга, но в этом случае неподвижность шпильки обеспечивается ввинчиванием в резьбу корпуса спиральной вставки из стальной проволоки ромбического сечения (рис. 9г).

При постановке шпилек необходимо выполнять следующие основные требования:

а) шпилька должна иметь достаточно плотную посадку в корпусе, чтобы при свинчивании даже туго посаженной гайки она не вывинчивалась из корпуса;

б) ось шпильки должна быть перпендикулярна поверхности детали, в которую шпилька ввернута. Большие отклонения от перпендикулярности вызывают значительные дополнительные напряжения в резьбе шпильки и часто могут быть причиной обрыва её при работе в машине.

Постановка шпилек производится с помощью механизированных шпильковёртов, гайковёртов и специальных установок. Захватывание шпильки производится за гладкую цилиндрическую поверхность или резьбовую поверхность.

### 6.1.2. Сборка болтовых и винтовых соединений

Болтовые и винтовые соединения по технологии сборки можно разделить на соединения, собираемые без затяжки и соединения, в которых создается предварительная затяжка. Наибольшее распространение получили соединения второго типа.

Предварительная затяжка резьбовых соединений при сборке играет существенную роль в повышении долговечности работы сборочной единицы или изделия и должна быть такой, чтобы упругие деформации деталей соединения при установившемся режиме работы механизма находились в пределах, предусмотренных его конструкцией.

Уменьшение величины предварительной затяжки приводит к появлению зазоров в стыке деталей, в результате чего появляются дополнительные динамические нагрузки, которые сокращают усталостную прочность резьбовых деталей.

Для выполнения затяжки применяют предельные ключи, выключающиеся при достижении заданного момента затяжки, и динамические ключи с указателем момента затяжки. В технических условиях на сборку ответственных резьбовых соединений указывают предельные значения осевой силы или момента затяжки.

Важным условием обеспечения нормальной работоспособности резьбового соединения является отсутствие изгибающих напряжений в теле болта или шпильки. В связи с этим неплотное прилегание гайки вследствие перекоса торца или опорной поверхности детали в ответственных, тяжело нагруженных соединениях недопустимо.

При большом числе гаек рекомендуется завертывать их в определенном порядке. Общий принцип — сначала затягивают средние гайки, затем пару соседних гаек справа и пару соседних гаек слева и т.д., постепенно приближаясь к краям.

Затяжку гаек целесообразно производить постепенно, то есть сначала затянуть все гайки на  $1/3$  усилия затяжки, затем на две трети и только

после этого - на полную величину усилия затяжки. Гайки, расположенные по кругу, следует затягивать крест-накрест.

В процессе разборки резьбовых соединений целесообразно придерживать обратного порядка отвинчивания гаек, это позволит предотвратить перекосы скрепляемых деталей.

Иногда для уменьшения износа резьбы корпуса в него ввертывают втулки с наружной и внутренней резьбой.

Созданная при сборке затяжка резьбовых соединений в процессе работы машины в условиях эксплуатации под действием переменных нагрузок постепенно уменьшается. Во избежание самоотвинчивания в конструкциях резьбовых соединений, подверженных переменным нагрузкам, предусматривается стопорение контргайкой, винтом, разводным шплинтом, пружинными шайбами и др. Наибольшее применение получило стопорение пружинными шайбами (до 80%).

Механизация сборки резьбовых соединений в условиях массового и серийного производства достигается применением электрических и пневматических инструментов (гайковёртов, шпильковёртов и т.п.). Они ускоряют сборку резьбовых соединений и повышают их качество.

В условиях массового производства применяют многошпиндельные гайковёрты, у которых все шпиндели приводятся во вращение от одного двигателя, и с индивидуальным приводом каждого шпинделя.

Для облегчения работы механизированный инструмент подвешивают на пружинных блоках. Сборка резьбовых соединений может быть автоматизирована.

При сборке крупногабаритных изделий с большими диаметрами резьбовых соединений переносной механизированный инструмент оказывается недостаточным.

В этих случаях применяют стационарные механизированные установки как одношпиндельные, так многошпиндельные.

## 6.2. Сборка шпоночных соединений

В шпоночных соединениях используют клиновые, сегментные, призматические шпонки. В процессе сборки шпоночных соединений с клиновыми шпонками ось охватывающей детали смещается по отношению к оси вала на величину посадочного зазора.

Таким образом, посадочный зазор желательно сокращать до минимума. Несоответствие уклона дна паза охватывающей детали углу шпонки ведёт к перекосу детали. Призматические и сегментные шпонки ставят в паз вала с натягом. Между ними и дном паза охватывающей детали оставляют зазор. В этом случае обеспечивается центрирование охватывающей детали.

Плотно устанавливаемые в пазу шпонки больших размеров рекомендуется запрессовывать под прессом. Использование для этой цели молот-

ка приводит к поперечному перекоосу шпонки и врезанию ее кромки в тело вала или наоборот,

В условиях крупносерийного и массового производства пригонку призматических и сегментных шпонок (в процессе самой сборки) не производят. В единичном и мелкосерийном производстве пригоночные работы при сборке допускаются, если к шпоночным соединениям предъявляются высокие требования по точности.

Для предотвращения среза и деформации шпонки должна обеспечиваться высокая точность центрирования шпоночного соединения и плотности посадки на валу и на охватываемой детали.

В конструкциях машин начинают применяться бесшпоночные соединения. Один из вариантов таких соединений — соединение упруго-пластичными втулками (рис. 10). Центрирование охватываемой детали 1 производится двумя металлическими кольцами, между которыми ставится втулка из капрона, паронита, асборезины или других упруго-пластичных материалов.

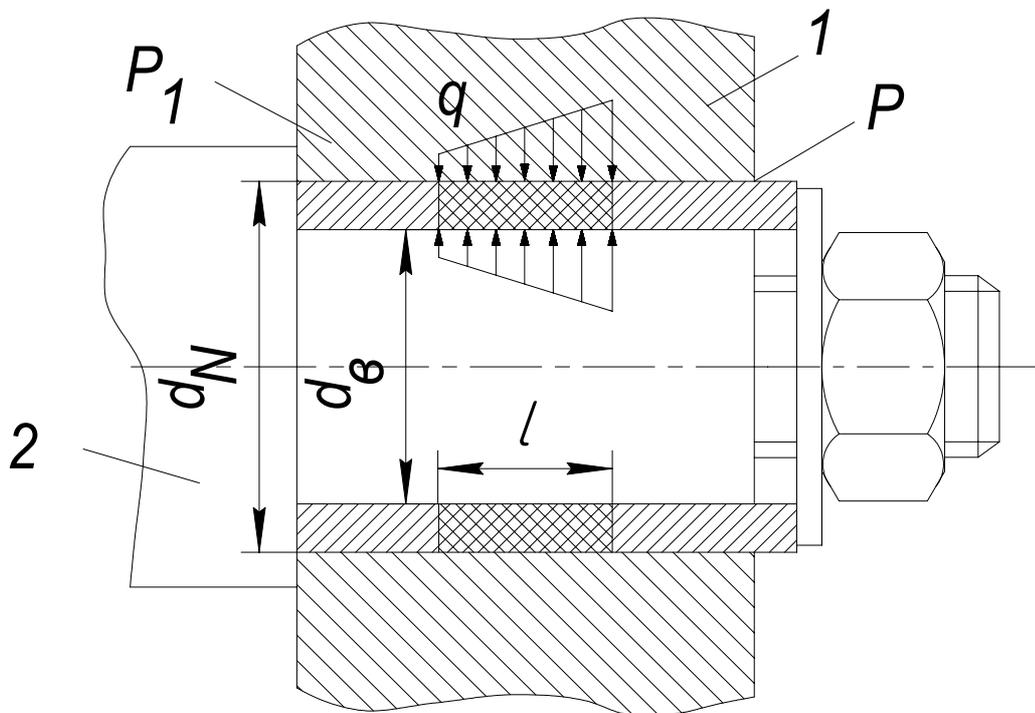


Рис. 10. Схема бесшпоночного соединения с упруго-пластичной втулкой

Под действием осевой силы  $P$ , создаваемой гайкой, втулка деформируется, в результате возникают силы трения, прочно удерживающие охватываемую деталь на валу 2.

Крутящий момент, передаваемый соединением,

$$M = \pi/2 g l d_b^2 f,$$

где  $f$  — коэффициент трения.

### 6.3. Сборка шлицевых соединений

Шлицевое соединение обеспечивает более точное центрирование деталей, чем шпоночное. Распространены прямобочные, эвольвентные и треугольные шлицевые цилиндрические соединения. В прямобочном шлицевом соединении охватывающая деталь может быть центрирована по наружному, внутреннему диаметру и боковым сторонам шлицев. В соединениях с эвольвентными шлицами центрирование осуществляется профилями зубьев или по наружной поверхности шлицев. При треугольных шлицах детали центрируются по боковым профилям шлицев.

В зависимости от применяемой посадки центрирующих поверхностей шлицевые (неподвижные) соединения разделяются на тугоразъёмные и легкоразъёмные.

Сборку шлицевых соединений следует начинать с осмотра состояния шлицев обеих деталей. Особое внимание уделяют состоянию внешних фасок и закруглений внутренних углов шлицев, так как при неправильном выполнении этих элементов возможно заедание шлицев при сборке соединения.

При тугоразъёмных шлицевых соединениях рекомендуется нагрев охватываемой детали до  $80...120^{\circ}$ . После запрессовки проверяют биение охватываемой детали на специальном приспособлении. Собирать такие соединения при помощи молотка не рекомендуется. Неравномерные удары молотка могут вызвать перекос охватываемой детали на шлицах, и даже задиры их.

В легкоразъёмных шлицевых соединениях охватывающие детали устанавливаются на место под действием небольших усилий или от руки. При этом охватывающие детали проверяются и на биение и на качку.

### 6.4. Сборка неподвижных конических соединений

Неподвижные конические соединения часто применяют взамен цилиндрических, так как в сборке они имеют ряд преимуществ.

Сборка конических соединений значительно облегчается вследствие хорошего центрирования. Это особенно важно при сборке круглых деталей (маховиков, крупных зубчатых колес). Плотность посадки и необходимый натяг в коническом соединении осуществляют за счет запрессовки или натяжки охватываемого конуса на охватываемую коническую поверхность.

Сборку конусного соединения начинают с подбора охватываемой детали по конусу вала. Проверку ведут по краске на отсутствие зазора, а также по глубине посадки охватываемого конуса на валу. Конус охватываемой детали должен плотно по всей длине соприкасаться с поверхностью конуса вала.

Перекос и качка деталей возникают при несовпадении углов конусов охватываемой и охватываемой деталей.

Исследования устойчивости конических прессовых соединений показали, что усилие запрессовки в значительной степени зависит от угла уклона конуса; с увеличением угла уклона конуса оно резко возрастает.

Прочность конического соединения также определяется углом уклона конуса. При малых его значениях усилие, требующееся для распрессовки, увеличивается и иногда даже превосходит силу запрессовки.

Правильность сборки неподвижного конусного соединения, затягнутого гайкой, характеризуется наличием зазора «Д» между торцами вала и втулки (рис. 11).

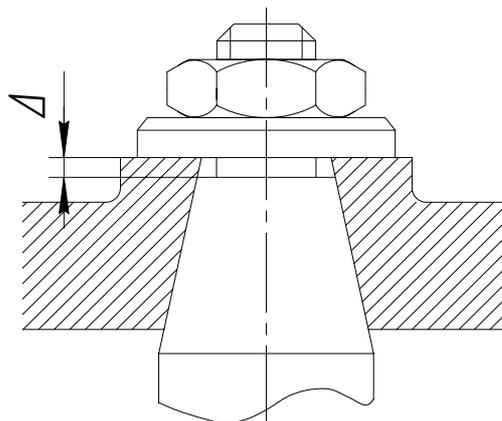


Рис. 11. Схема затяжки конического соединения

Выбивание штифтов при разборке производят посредством специальных выколоток с соответствующими подставками.

Штифтовые соединения осуществляют посредством конических и цилиндрических штифтов. Штифты применяют в качестве соединительного и установочного элемента, координирующего взаимное положение сопрягаемых деталей. При выполнении штифтовых соединений с посадкой на конус сверление и развертывание отверстия под штифт следует производить при сборке. Постановка штифтов производится молотком с применением специальной оправки или запрессовкой на прессе.

#### 6.5. Сборка неподвижных соединений с применением пластмассовых компенсаторов

Сущность этого процесса, разработанного в Ижевском механическом институте, состоит в том, что при сборке узла или машины в зазоры, образовавшиеся или специально создаваемые между сопрягаемыми поверхностями деталей после их взаимной выверки, нагнетается пластмасса в вязко-текучем состоянии. Пластмасса, выбирая зазоры, воспринимает на себя погрешности механической обработки и сборки деталей, и после затвердения превращается в компенсатор требуемого размера и формы. Весьма важно, что компенсация происходит при этом одновременно во всех направлениях.

С применением пластмассовых компенсаторов может быть сформирован ряд неподвижных сопряжений (плоских, цилиндрических, кониче-

ских, фасонных), причем как в разъёмных, так и в неразъёмных соединениях деталей и узлов. При этом точность замыкающего звена во всех видах размерных цепей (линейных, угловых, пространственных и др.) может быть обеспечена за одну выверку деталей и узлов. Ни один из известных способов компенсации не обладает столь широкими возможностями использования. Поэтому процесс сборки с применением пластмассовых компенсаторов является универсальным методом компенсации погрешностей при формировании неподвижных соединений.

Преимущества метода:

1) экономичность, так как значительно сокращается объем регулировочных работ;

2) он позволяет повысить точность сборки узлов и машин на 20...25% без повышения точности обработки деталей;

3) увеличивается контактная поверхность в сопряжении деталей, так как пластмасса заполняет макро- и микронеровности;

4) наличие упругой прослойки в сопряженных деталях благоприятно сказывается на снижении вибраций и уровня шума (примерно на 20...30%).

Технологический процесс сборки при применении пластмассовых компенсаторов включает следующие операции:

подготовку сопрягаемых поверхностей деталей к сборке;

установку и выверку деталей и узлов;

заполнение зазоров пластмассой;

обеспечение условий полимеризации пластмассы в зазоре;

закрепление деталей и узлов после отверждения пластмассовой прослойки;

контроль качества компенсатора.

В качестве материала компенсатора рекомендуется выбирать пластмассу АСТ-Т.

## 7. СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ НЕРАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

К неподвижным неразъёмным относятся соединения, выполненные с гарантированным натягом, развальцовкой, клепкой, сваркой, пайкой и склеиванием.

### 7.1. Сборка соединений с гарантированным натягом

Они осуществляются на прессах (продольно-прессовые соединения) путем теплового воздействия или гидропрессовым способом (поперечно-прессовые соединения).

Процесс сборки продольно-прессовых соединений состоит в том, что к одной из сопрягаемых деталей прикладывается осевая сила, надвигающая детали друг на друга. Усилие запрессовки растет при этом от нуля до максимального значения (см. с. 31, рис. 12). В связи с наличием натяга в процессе сборки происходит деформирование металла, в результате чего

на поверхности контакта возникают значительные нормальные давления и силы трения, препятствующие относительно сдвигу этих деталей.

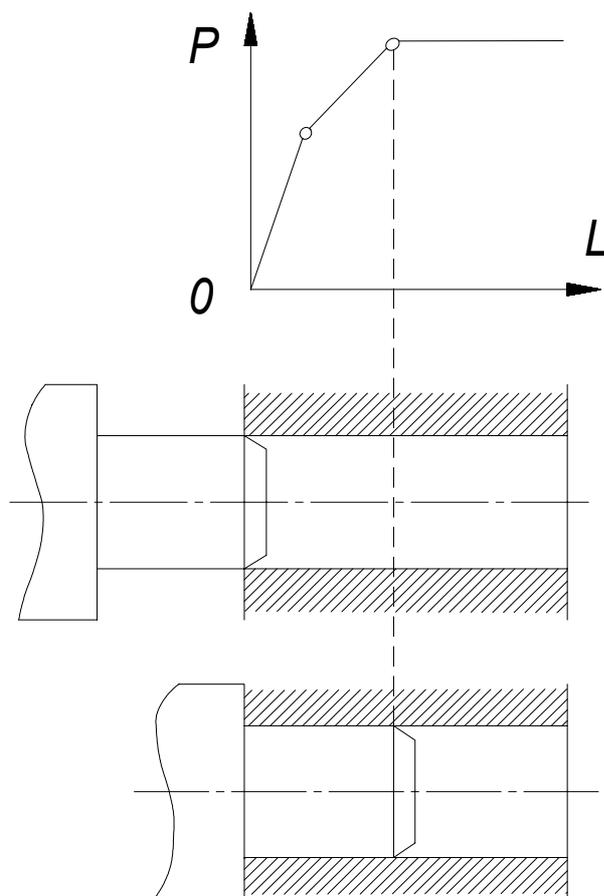


Рис. 12. Диаграмма усилий запрессовки

Натяг является основным показателем, определяющим как способность прессового соединения передавать заданные нагрузки, так и силу запрессовки.

Величину натяга в значительной степени определяет шероховатость поверхности, которую необходимо учитывать при определении действительного натяга. Шероховатость собираемых поверхностей должна быть  $Ra = 1,25 \dots 0,63$  мкм. Использование в процессе запрессовки смазки (машинное масло) способствует повышению прочности соединения.

Усилие распрессовки должно превышать усилие запрессовки на 10..15%.

Усилие запрессовки при сборке продольно-прессового соединения с гарантированным натягом находится по формуле

$$P = f_{\text{зап}} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \alpha \cdot L \text{ Н/м}^2,$$

где  $f_{\text{зап}}$  — коэффициент трения при запрессовке;

$\rho$  — удельное давление на поверхности контакта,  $\text{Н/м}^2$ ;

$\alpha$  — диаметр охватываемой детали по поверхности сопряжения, м;

$L$  — длина запрессовки, м.

Удельное давление  $p$  на поверхности контакта определяется по формуле

$$P = \frac{\bar{\delta} \cdot 10^{-6}}{\alpha(C_1/E_1 + C_2/E_2)}, \text{ Н/м}^2,$$

где  $\bar{\delta}$  — расчетный натяг, мкм;

$E_1$  и  $E_2$  — модули упругости охватываемой и охватывающей деталей;

$C_1$  и  $C_2$  — коэффициенты

$$C_1 = \frac{d^2 + d_o^2}{d^2 + d_o^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{D^2 + d_o^2}{D^2 + d_o^2} + \mu_2,$$

$\mu_1$  и  $\mu_2$  — коэффициенты Пуассона;

$d_o$  — внутренний диаметр охватываемой детали;

$D$  — наружный диаметр охватывающей детали.

Значения  $C_1$  и  $C_2$ , определяются из таблицы 33 [1], через отношения  $d_o/d$  и  $d_o/D$ . При этом, если охватываемая деталь выполнена в виде сплошного вала, то  $d_o/D = 0$ , а если охватывающая деталь выполнена в виде плиты корпуса, то  $d_o/D = 0$ .

Расчетный натяг  $\bar{\delta}$  определяют по формуле

$$\bar{\delta} = \Delta\alpha - 1,2(Rz_1 + Rz_2),$$

где  $\Delta\alpha$  — номинальный натяг (разность диаметров охватывающей и охватываемой деталей);

$Rz_1$  и  $Rz_2$  — шероховатость сопрягаемых поверхностей.

Запрессовку следует производить осторожно, обеспечивая специальными приспособлениями правильное направление прессуемой детали. Распространенной погрешностью является перекося запрессовываемой детали и возникающие при этом деформации детали.

Запрессовку производят вначале медленно, с небольшим усилием, чтобы не вызвать перекося. Заканчивать операцию для более плотной посадки целесообразно с максимальным усилием.

Перед запрессовкой детали необходимо тщательно осмотреть. Входная кромка запрессовываемой детали должна иметь галтель или фаску. Для устранения надиров деталь слегка смазывают сульфидом молибдена, чистым машинным маслом.

Запрессовку деталей, во избежание задира, также целесообразно выполнять с применением специальных оправок.

При больших усилиях запрессовки применяют различные типы прессов. Требуемый тип прессы определяют по силе запрессовки с учетом коэффициента запаса 1,5... 2,0.

Для уменьшения усилий запрессовки, облегчения и упрощения конструкции прессового оборудования перспективным направлением является использование при сборке прессовых соединений вибраций с частотой до 100 колебаний в секунду. Вибрации создаются электромагнитом и сообщаются штоку или пуансону.

Качество прессового соединения контролируют по силе запрессовки. При сборке ответственных соединений (колесные пары подвижного состава) снимают диаграмму изменения силы запрессовки, которая является паспортом этого соединения.

Сборка с тепловым воздействием повышает прочность соединения в 1,5...2,5 раза по сравнению со сборкой на прессе. Объясняется это тем, что неровности сопрягаемых поверхностей не сглаживаются, как при холодной запрессовке, а как бы сцепляются друг с другом. В результате создаются соединения с натягом, равнопрочные по передаче крутящего момента шлицевым, но выгодно отличающиеся простотой изготовления деталей и высокой надежностью и долговечностью при динамических нагрузках. Операция запрессовки выполняется с нагревом охватывающей (общим или местным) или охлаждением охватываемой детали.

Детали небольших или средних размеров нагревают в масляных или водяных ваннах. Для крупногабаритных деталей применяют местный нагрев участка, примыкающего к отверстию. Нагрев производят газовым пламенем, устройствами с электрическими спиралями или индуктором ТВЧ.

Температура нагрева — 75...400°С в зависимости от требуемого натяга. Время и интенсивность нагрева устанавливается, опытным путем.

Дальнейшим совершенствованием технологии сборки соединений с гарантированным натягом является применение теплового способа сборки, основанного на индукционном нагреве охватывающей детали токами промышленной частоты.

Одним из существенных преимуществ теплового метода является перевод сборки соединений с натягом в область сборки с зазором. Это открывает большие перспективы для механизации и автоматизации процесса, позволяет перейти к полной взаимозаменяемости,

Кроме того, индукционно-тепловой метод позволяет решить вопрос разборки соединений с гарантированным натягом без применения силового гидравлического оборудования.

Сущность разборки заключается в том, что охватывавшая деталь или ее часть (ступица) разогревается со скоростью, превышающей скорость передачи тепла через зону сопряжения и охватываемую деталь. Полученный в результате тепловой деформации зазор в соединении дает возможность свободно расчленять элементы узла. В большинстве случаев, разборку соединений (с гарантированным натягом) можно произвести с помощью оборудования для нагрева или после его небольшой переделки.

Следовательно, традиционно неразъёмные соединения с натягом превращаются в разъёмные без ущерба для качества соединения.

Индукционные нагреватели, работающие на токах промышленной частоты, весьма удобны для выполнения сборочных операций. Они выполнены компактно, обладают высокой производительностью, просты в изготовлении и обслуживании. Они обеспечивают нагрев до необходимой для сборки температуры при весьма высоком темпе (0,5...3,0 мин). Их применение повышает культуру производства и создает предпосылки для механизации и автоматизации сборочных операций.

Особенности теплового способа запрессовки совершенно меняют существующие способы контроля прочности соединений. Поскольку диаграмма запрессовки отсутствует, для оценки прочности соединения используется другой критерий — натяг. Если его величина ниже минимальной, то прочность соединения окажется недостаточной и не обеспечит безаварийной работы узла. Если натяг завышенный, то в ступице и на валу возникают недопустимо высокие напряжения. При косвенном методе контроля производится обмер посадочных поверхностей сопрягаемых деталей. Прямой метод контроля производится на стенде испытаний, где к детали прикладывается контрольная нагрузка, несколько большая, чем эксплуатационная.

Температура, до которой следует нагревать охватываемую деталь при тепловом способе запрессовки, определяется из условия, что натяг

$$\Delta < K_{\alpha} \cdot t_n \cdot d_1,$$

где  $K_{\alpha}$  — коэффициент линейного расширения материала охватываемой детали;

$t_n$  — температура нагрева;

$d_1$  — диаметр отверстия.

Или 
$$\Delta = d - d_1,$$

где  $d$  — диаметр охватываемой детали.

Следовательно,

$$d - d_1 < K_{\alpha} \cdot t_n \cdot d_1,$$

откуда

$$t_n > \frac{d - d_1}{K_{\alpha} \cdot d_1}$$

Температура охватываемой детали после нагрева будет —  $t_n + t_h$ , где  $t_h$  — первоначальная температура детали.

Температура нагрева, (подсчитанная по формулам) увеличивается на 15...30% для компенсации охлаждения детали в процессе её установки перед запрессовкой.

Часто при сборке вместо нагрева охватывающей детали пользуются обратным методом, то есть с охлаждением охватываемой детали.

Этот метод имеет ряд преимуществ перед горячей посадкой. Нагрев деталей сложной формы может явиться причиной возникновения температурных напряжений, нежелательных изменений в микроструктуре, местных деформаций, снижения твердости и окисления поверхностей деталей. Этим недостатком не имеет сборка с последующим расширением охватываемой детали.

Время охлаждения охватываемых деталей меньше, чем время нагрева охватывающих. Охлаждение производят в жидком азоте (температура — 195,8°С) или в ванне, содержащей денатурированный спирт и сухой лед (твердая углекислота), с температурой 78,5°С.

Приступать к охлаждению необходимо после того, как охватывающая деталь полностью готова к сборке. Сопрягаемые поверхности обеих деталей должны быть тщательно протерты и обезжирены. Сборка узлов при этом способе значительно дешевле. Затраты на охлаждение 1 кг стальных деталей составляют 2...3 коп.

Для получения необходимой прочности соединения деталей из различных материалов метод охлаждения следует рекомендовать в случаях, когда коэффициент линейного расширения материала охватываемой детали больше, чем у материала охватывающей. Например, при посадке бронзового венца на чугунную или стальную ступицу целесообразнее нагревать венец; если же бронзовая втулка устанавливается в стальное кольцо, лучше охладить втулку.

Наряду с этими, широко известными способами сборки соединений с гарантированным натягом, получает развитие гидропрессовый способ формирования соединений с натягом, основанный на создании между контактирующими поверхностями в процессе монтажа и демонтажа масляной прослойки.

Сущность гидропрессового метода заключается в том, что непосредственный "сухой" контакт между сопрягаемыми деталями устраняется благодаря нагнетанию масла в зону контакта под давлением. В связи с высоким (до 1000 атм) давлением масла происходят такое упругое увеличение диаметра охватывающей детали 1 (см. с. 36, рис. 13) и уменьшение охватываемой детали 2, что непосредственный контакт сопрягаемых поверхностей почти полностью ликвидируется. Соединение с гарантированным натягом превращается в соединение с зазором, что, безусловно, меняет условия разъединения сопрягаемых деталей.

Наличие масляной прослойки, разделяющей сопрягаемые поверхности, в десятки раз снижает коэффициент трения и усилия запрессовки. На рис. 14 (см. с. 36) показаны для сравнения линии изменения усилия при

"сухой" запрессовке (линия 1) и при запрессовке с применением масла под давлением (линия 2).

В настоящее время разработана сборочная оснастка для выполнения соединений гидропрессовым методом.

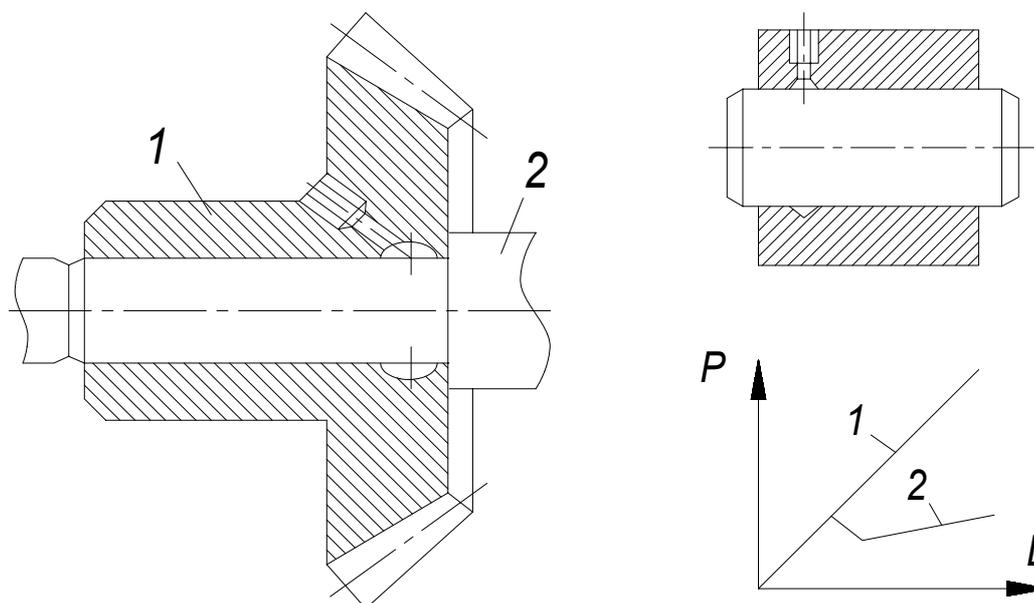


Рис. 13. Соединение с натягом гидропрессовым методом  
Рис. 14. Изменение усилия запрессовки при "сухом" (1) и гидропрессовом (2) методах

### 7.2. Сборка соединений, получаемых развальцовыванием

Этот способ используют при сборке соединений, натяг в которых создается за счет радиального расширения охватываемой или сжатия охватывающей детали. Основное назначение таких соединений — обеспечить герметичность от проникновения газов или жидкостей. Они относятся к числу редко демонтируемых, так как разборка сопровождается порчей одной или обеих деталей соединения. В современных машинах эти соединения имеют большое распространение.

Развальцовывание производится на токарных, токарно-револьверных, сверлильных и специальных станках и установках под действием давления, создаваемого роликовым инструментом. Скорость вальцевания — 15...20 м/мин. Примеры соединений, осуществляемых развальцовыванием, приведены на рис. 15 (см. с. 37).

Процесс развальцовывания легко поддается автоматизации. В этом случае в цикл автоматизации сборки включаются также операции пневмо- или гидроконтроля на герметичность соединения.

### 7.3. Сборка заклёпочных соединений

Заклёпочные соединения в конструкциях машин применяют в узлах, подверженных большим динамическим нагрузкам, а также при сопряжении плохо свариваемых материалов и деталей, нагрев которых при сборке не-

желателен. Объем заклёпочных соединений с развитием сварочного производства постепенно сокращается; они вытесняются сварными, клеевыми и резьбовыми соединениями.

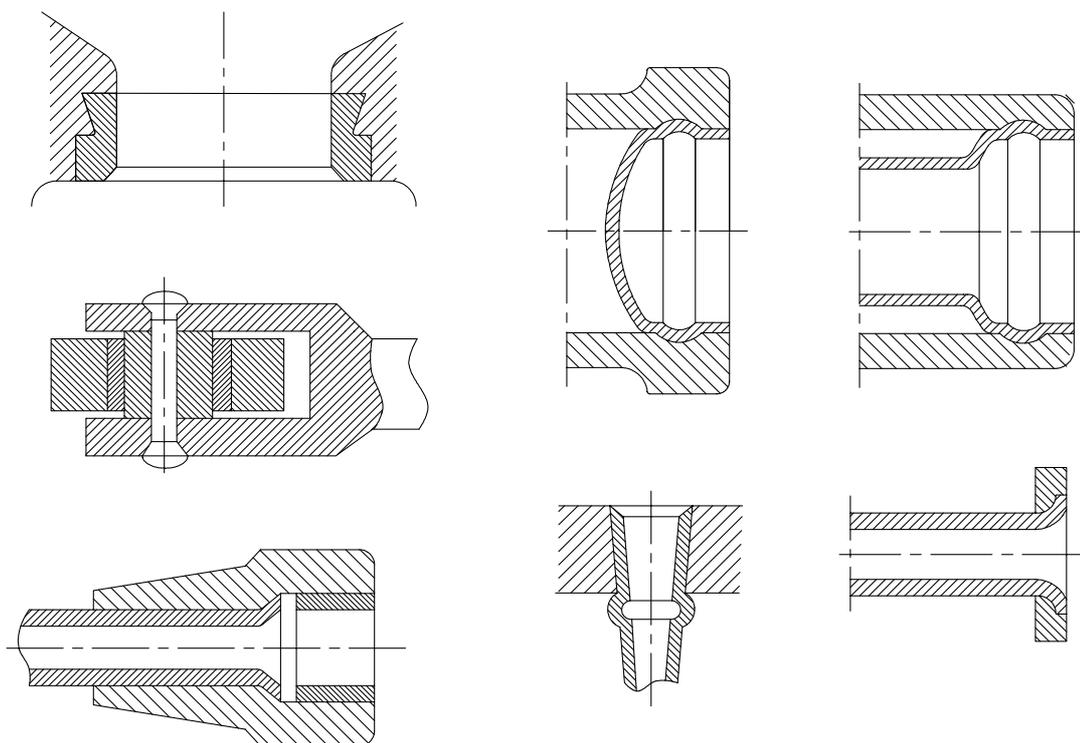


Рис. 15. Соединения, осуществляемые развальцовыванием

Для клёпки применяются стандартные заклёпки со сплошным стержнем с головками различной формы, а также специальные: трубчатые, полутрубчатые (см. с. 38, рис. 16). В качестве материала заклёпок применяются: сталь, медь, латунь и алюминиевые сплавы.

Клёпку производят в холодном и горячем состоянии. Горячую клёпку применяют для заклёпок свыше 12 мм. Заклёпку нагревают до температуры 1000...1100°С. Клёпку производят клепальными молотками или под прессом.

Для заклёпок 3...12 мм используют пневматические прессы, свыше 12 мм — гидравлические и пневмогидравлические прессы. Клепальные прессы применяют в виде стационарных установок или подвесных скоб.

Усилие, развиваемое прессом, должно равняться 25 FN при холодной клёпке и 10 FN при горячей, где F — площадь сечения стержня заклёпки, см<sup>2</sup>.

Для механизации процесса клёпки многие заводы разрабатывают и изготавливают для нужд своего производства разнообразное оборудование, позволяющее облегчить и ускорить выполнение, этой тяжелой и трудоемкой операции.

При массовой сборке заклёпочных соединений в малогабаритных узлах экономически выгоднее применять специализированные установки полуавтоматического действия.

Постановку трубчатых заклёпок производят путем отбортовки и развальцовки с применением специальных оправок. Таким образом, производят клепку лент Феродо медными трубчатыми заклёпками (рис. 17).

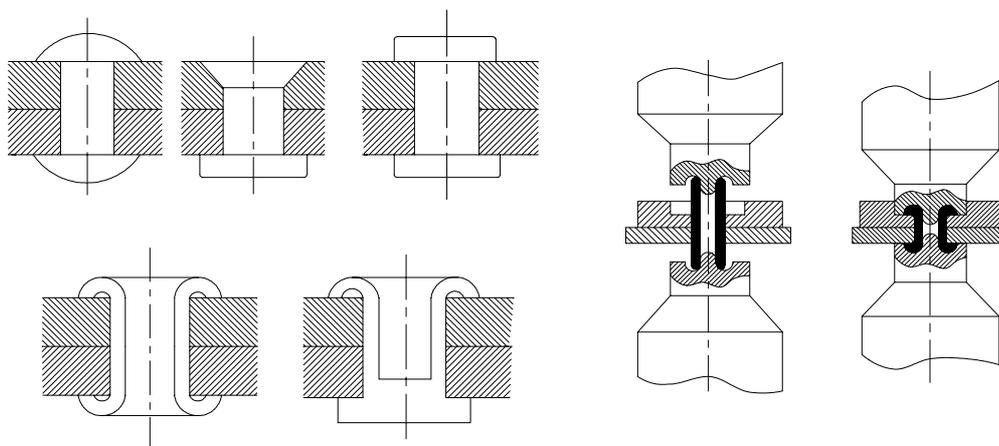


Рис. 16. Типы заклёпок, применяемых в конструкциях машин  
Рис. 17. Приспособление для отбортовки заклёпок под прессом

Контроль заклёпочных соединений осуществляется осмотром, простукиванием заклёпок; плотные соединения подвергаются гидравлическим испытаниям. Ответственные заклёпочные соединения контролируются методами рентгеноскопии,

#### 7.4. Сборка соединений сваркой, пайкой, склеиванием

Сварка находит все большее распространение при сборке деталей вследствие значительной экономии металла и снижения трудоемкости изготовления деталей. При необходимости электросварочные материалы могут включаться в общий поток механической обработки детали, узловой или общей сборки.

Существует большое количество способов сварки, которые рассматриваются в специальном курсе.

Широкое распространение получила сварка при создании неподвижных соединений из пластмасс (оргстекла, винипласта, полистирола, полиэтилена),

Пайкой называется процесс получения неразъёмного соединения двух или нескольких деталей с применением припоя — путем нагрева их в собранном виде до температуры плавления припоя. Расплавленный припой благодаря хорошему смачиванию поверхностей собираемых деталей и капиллярности проникает в соединительный шов и образует сплав, по прочности превышающий прочность припоя.

В зависимости от температуры плавления припоя различают пайку мягкими и твердыми припоями. Мягкие (обычно оловянисто-свинцовые) припои имеют температуру плавления ниже  $400^{\circ}\text{C}$ , а твердые (медные, медно-цинковые) — выше  $500^{\circ}\text{C}$ . Мягкие припои обладают меньшим пределом прочности. При необходимости иметь большую прочность приме-

няют твердые припои. Если пайка производится только для получения плотности, используют мягкие припои.

Кроме припоя при пайке применяют различные флюсы, назначение которых сводится к защите места спая от коррозии, обеспечению лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом, а также растворения металлических окислов. В качестве флюсов для твердых припоев применяют буру или плавиковый шпат, а для мягких — канифоль, нашатырь, фосфорную кислоту и т.п.

Пайку точных соединений производят в защитной среде или в вакууме.

В единичном и мелкосерийном производстве наибольшее применение имеет пайка паяльником или газовой горелкой; в крупносерийном и массовом производствах детали нагревают в ваннах, газовых печах, применяют электрический нагрев.

Для пайки в настоящее время начинают применяться различные полуавтоматические устройства, в которых широко применяется индукционный нагрев токами высокой и промышленной частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки являются применение ультразвука. Этот способ пайки особенно удобен для алюминиевых сплавов, так как высокочастотные колебания разрушают окисную пленку, и пайка происходит без флюса.

Для получения особо прочных соединений при толстых швах получает распространение новый способ пайки с помощью волокнисто-металлических сталемедных прослоек, помещаемых в месте спая. Образующиеся в месте спая при нагреве капилляры из металловолокна дают возможность лучше заполнить пространство стыка.

В приборостроении применяют высокопроизводительный (до 20 раз) групповой метод пайки волной припоя.

Неподвижность соединений во многих узлах обеспечивается склеиванием деталей. Этот метод уменьшает массу изделий, обеспечивает герметичность и коррозионную стойкость деталей в местах соединения, а также снижает себестоимость изделий,

Клеевые соединения хорошо работают на сдвиг, равномерный отрыв, переносят динамические и переменные нагрузки. Недостатком клеевых соединений является их небольшая теплостойкость (до 100°C), склонность к ползучести при длительных статистических нагрузках, а также длительная выдержка при полимеризации.

Основные группы клеев, выпускаемых промышленностью:

1) клеи на основе эпоксидных смол (типа ЭД5 или ЭД6) применяют при холодном и горячем склеивании металлов, керамики, пластмасс, древесины. Клеи холодного отверждения хранятся 30...40 мин, горячего — можно хранить длительное время. Теплостойкость клея не выше 90°C;

2) клеи на основе фенольных смол (типа БФ). Теплостойкость не выше 70°C, прочность на сдвиг 200...300 кгс/см<sup>2</sup> при соединении стали со сталью;

3) полиуретановые клеи имеют теплостойкость 100...120°C, прочность такую же, как и клеи БФ;

4) специальные клеи обладают повышенной теплостойкостью и прочностью на сдвиг (600—700 кгс/см<sup>2</sup>).

Сопрягаемые поверхности перед склеиванием тщательно очищаются и обезжириваются. Рекомендуемая шероховатость поверхностей  $Ra = 2,5...0,63$  мкм. Полированные поверхности должны протираться шкуркой и затем обезжириваться. Прочность клеевых соединений зависит от зазора между сопрягаемыми поверхностями. Они должны быть не более 0,1 мм. При больших зазорах необходимо применять наполнитель (чугунная пыль, алюминиевая пудра).

Кроме клеевых соединений часто применяют комбинированные — клеесварные, клеезаклёпочные соединения.

## 8. СБОРКА ТИПОВЫХ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

### 8.1. Сборка составных валов и муфт

Существует несколько распространенных способов соединения составных валов (см. с. 41, рис. 18):

при помощи шлицевой муфты;

гладкой цилиндрической муфты со штифтами;

конического соединения и штифтов;

на шпонках, болтах, работающих на срез;

при помощи фланцев, стягиваемых болтами.

Сборку составного вала со шлицевой муфтой (см. с. 41, рис. 18а) начинают с установки и закрепления частей вала на призмах так, чтобы оси их лежали в одной плоскости. На один из концов надевают муфту; конец второго вала вводится в муфту. При сборке с небольшим натягом по центрирующему элементу муфты нагревают в масляной ванне.

Сборку валов при соединении гладкой цилиндрической муфтой со штифтами (см. с. 41, рис. 18б) производят так же, как и сборку со шлицевой муфтой. Сверление отверстий под штифты производят после окончательной установки муфты. Сборка узла вала со втулочной муфтой на шпонках (см. с. 41, рис. 18в) производится так же, как и шлицевую муфту, предварительно установив шпонки. Посадка муфты обычно напряженная; зазоры  $e = 1,5...2,0$  мм (для валов с диаметрами до 150 мм).

При сборке с соединением по конусным поверхностям (см. с. 41, рис. 18г) необходимо строго контролировать размеры по конусным поверхностям. Это осуществляется через контроль размера  $h$  до запрессовки и после запрессовки валов.

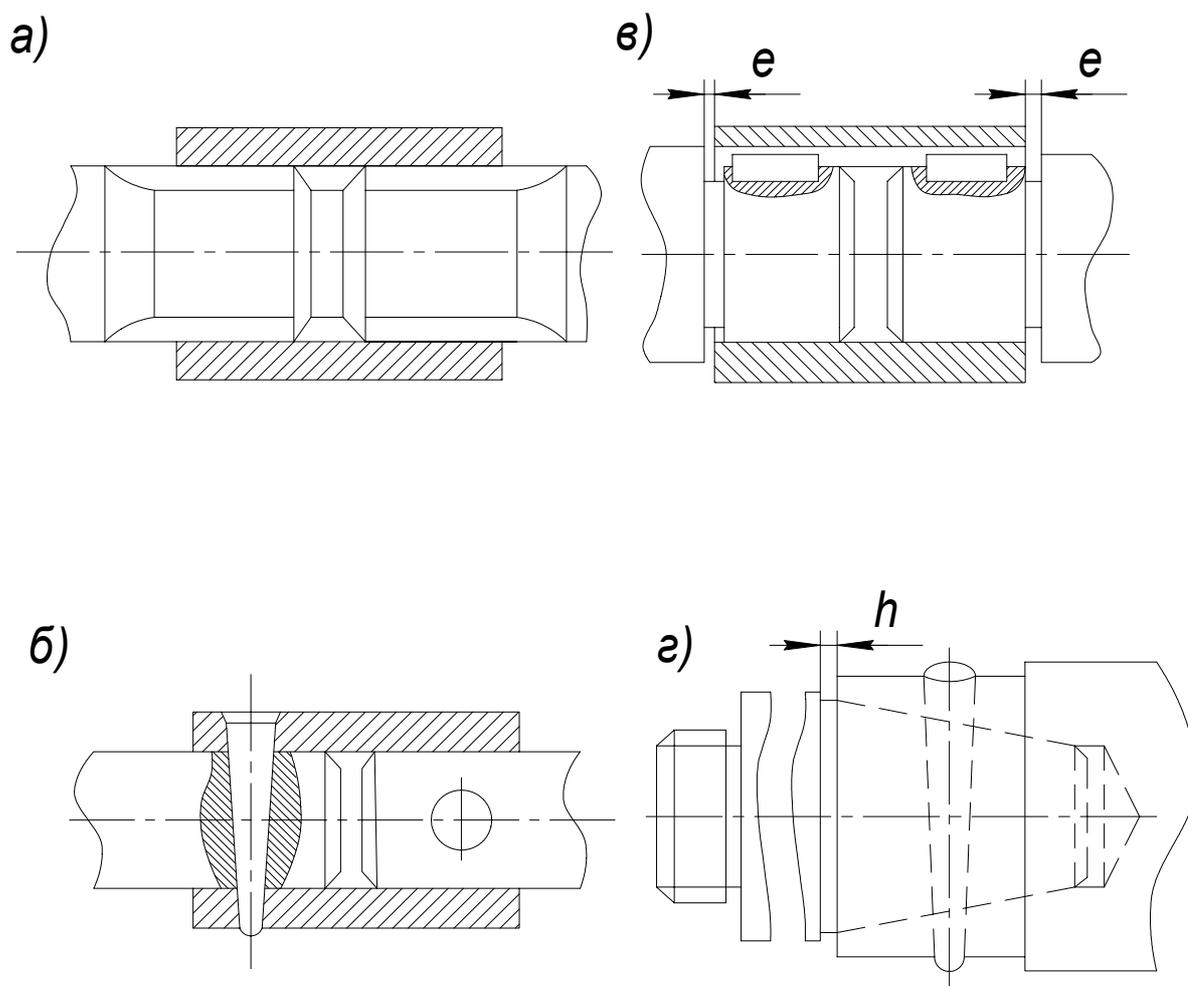


Рис. 18. Соединение составных валов

## 8.2. Сборка с подшипниками скольжения

Подшипники скольжения могут быть цельными и разъемными. В первом случае — это цельная втулка из антифрикционного материала, во втором — вкладыши с диаметральной разъемом.

Сборка цельной втулки состоит из операций её установки в корпусе, фиксирования от проворачивания и калибрования отверстия

Установка втулки может производиться, с гарантированным натягом на прессах или с зазором на клею.

Для упрощения операции запрессовки и избежание перекосов применяются специальные приспособления (см. с. 42, рис. 19).

Перед запрессовкой втулка и отверстие в корпусе должны быть тщательно осмотрены, острые углы и заусенцы на торцах зачищены, поверхности сопряжения тщательно протерты и во избежание надиров смазаны чистым машинным маслом или сульфидом молибдена.

Запрессованную втулку закрепляют от провертывания винтами или штифтами.

После запрессовки внутреннюю поверхность втулки калибруют, для чего их растачивают, развертывают, калибруют уплотняющими оправками,

прошивками, шариками и раскатывают. Перед калибровкой обрабатывают отверстие для подвода смазки.

Разъёмные подшипники в виде вкладышей могут быть толстостенными и тонкостенными. Отличаются они не толщиной стенки, а жесткостью (отношением толщины стенки без заливки к наружному диаметру). Жесткость толстостенных подшипников — 0,065...0,095, тонкостенных — 0,025...0,045 мм.

Вкладыши толстостенных подшипников изготавливают из специальной стали, чугуна, бронзы и заливают баббитом или другими антифрикционными материалами. Вкладыши устанавливают с небольшим натягом или зазором и фиксируют от перемещения установочными штифтами или заплечиками.

При установке вкладышей необходимо проверить совпадение смазочных каналов в корпусе и крышке с отверстиями во вкладышах. Несовпадение этих отверстий более 0,4...0,6 мм не допускается.

Масляные каналы в корпусе перед постановкой вкладыша должны быть промыты керосином.

Крышка подшипника фиксируется на корпусе штифтами, пазами или шипами (рис. 20) с небольшим (0,02...0,04 мм) натягом.

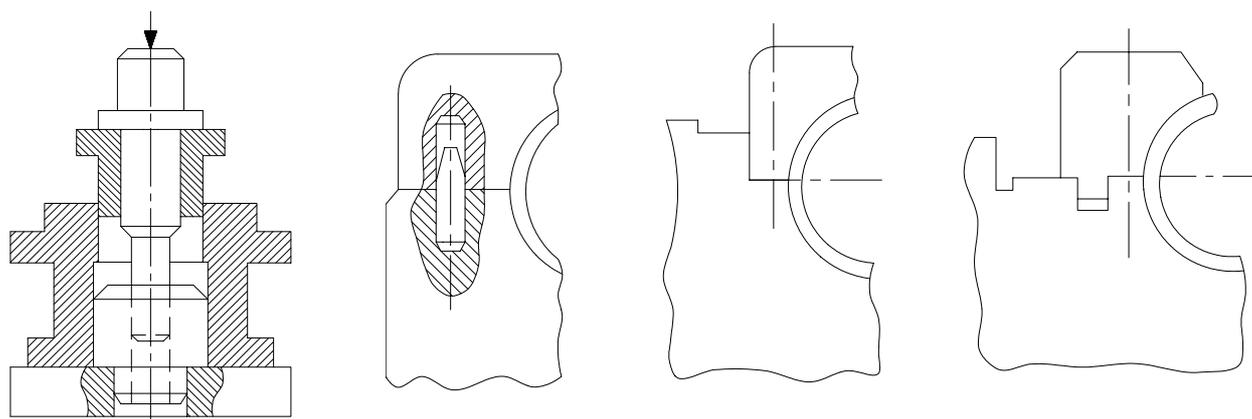


Рис. 19. Схема приспособления для запрессовки втулки  
Рис. 20. Способы фиксации крышек подшипников скольжения

В массовом и крупносерийном производстве применяются взаимозаменяемые вкладыши. Они изготавливаются по жестким допускам и не требуют применения пригоночных работ. Техпроцесс сборки при этом относительно прост: укладка нижних вкладышей в отверстия корпуса; смазка поверхностей скольжения; укладка вала; установка верхних вкладышей и крышек с постановкой необходимого количества прокладок; предварительная и окончательная затяжка гаек; проверка легкости вращения вала и шплинтовка гаек.

При этом большое значение приобретает равномерное прилегание наружных поверхностей к основанию и крышке подшипника. При плохом прилегании ухудшается теплопередача от вкладыша к корпусу. Вкладыш под действием сил, нагружающих цапфу вала, станет периодически ме-

нять свою форму — "дышать", что вызовет отслаивание антифрикционного слоя. Избежать этого в условиях применения взаимозаменяемых вкладышей можно только тщательным подбором и контролем установки вкладышей и требуемой степени затяжки гаек.

В единичном производстве вкладыши невзаимозаменяемые, и поверхность трения окончательно обрабатывают после установки вкладышей в процессе сборки.

Указанных выше неприятностей удастся избежать за счет увеличения натяга между вкладышами и корпусом (до 0,1 мм), чего нельзя допустить при взаимозаменяемых вкладышах.

Поверхности вкладыша пришабривают по краске к шейкам сопряженного вала. Окончательную пригонку вкладышей производят с крышками подшипников. Для определения необходимости пригонки затягивают гайки, проворачивают вал на 2...3 оборота, ослабляют гайки, раскрывают подшипники, пришабривают верхние и нижние вкладыши и только затем собирают подшипники с валом окончательно.

Тонкостенные вкладыши взаимозаменяемы. От смещения вкладыши удерживаются шпорами или усами, входящими в соответствующие углубления гнезд сопряженной детали.

Плотное и равномерное прилегание вкладыша является важным условием нормальной работы подшипника.

Посадочные гнезда под вкладыши обрабатываются с высокой точностью (Тб), конусообразность и овальность не должны быть больше 0,010...0,015, мм на 100 мм диаметра, так как вкладыши при зажиме копируют форму гнезда.

Особенностью сборки тонкостенных вкладышей является необходимость создания натяга, который должен обеспечить полное прилегание вкладышей к гнезду. Для создания натяга после прижатия вкладыша к поверхности гнезда края вкладыша должны выступать над плоскостью стыка на величину 0,05 — 0,12 мм. Эта величина контролируется на специальном приспособлении.

Правильность формы вкладышей проверяется вне узла по краске (под весом стандартной нагрузки).

После сборки подшипников многоаппаратного вала необходимо проверить их допуск соосности. Увеличение отклонения от соосности выше допустимой (0,02...0,06 мм) резко снижает прочность вала и уменьшает несущую способность подшипника. Проверка допуска соосности может производиться специальными калибрами. В массовом и крупносерийном производстве применяется пневматический и оптический метод контроля.

### 8.3. Сборка соединений с подшипниками качения

Наиболее распространенные соединения подшипников качения с валом и корпусом приведены на рис. 21 и 22 (см. с. 44).

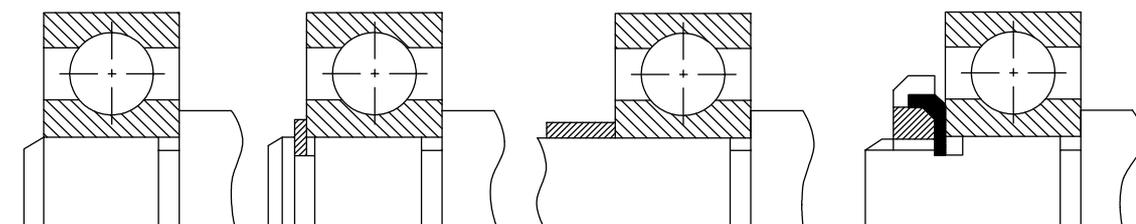


Рис. 21. Установка подшипников качения на валах

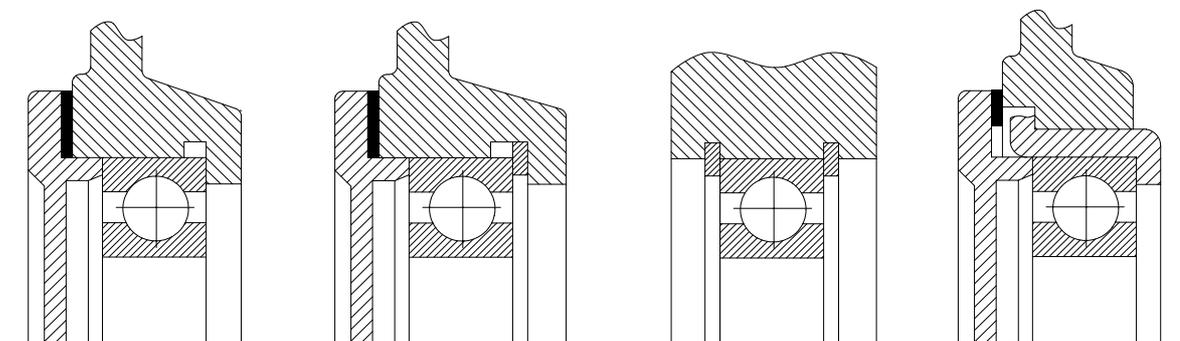


Рис. 22. Установка подшипников качения в корпусе

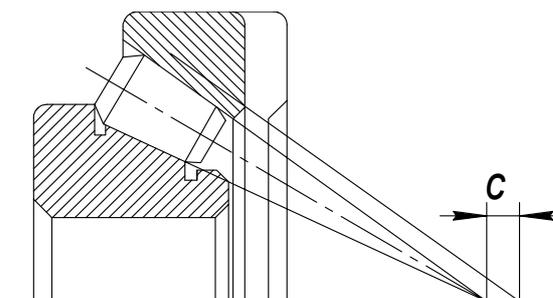


Рис. 23. Схема регулирования радиального зазора конического роликоподшипника

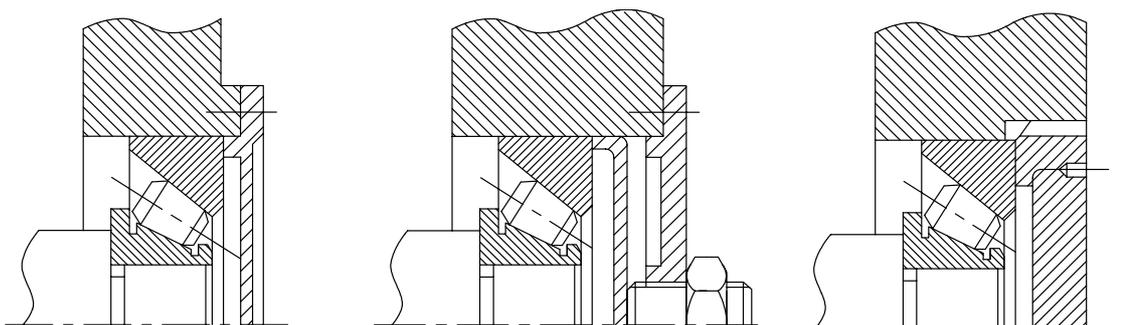


Рис. 24. Способы регулирования зазора в конических роликоподшипниках

Долговечность подшипников определяется качеством монтажа подшипниковых узлов. Неправильно выбранные посадки, перекосы при монтаже, повреждения и загрязнения при сборке могут вызвать преждевременный выход подшипника из строя.

Как правило, вращающееся кольцо подшипника соединяется с деталью неподвижно, неподвижное кольцо — с небольшим зазором.

Перед сборкой подшипник промывают в 6%-м растворе масла в бензине или в антикоррозионном растворе (1% триэтаноламина, 0,2% нитрита натрия, 0,1% смачивателя ОП-10). Промытый подшипник нагревают в масляной ванне до температуры 30...90°С в течение 15...20 мин и напрессовывают на вал с обязательным применением для этого оправок во избежание перекоса. Усилие запрессовки должно при этом передаваться через внутреннее кольцо.

Напрессованный подшипник проверяется на провертывание от руки. При этом должен быть обеспечен ровный без заедания ход. Кроме этого проверяется осевой и радиальный зазор, причем первый не должен быть больше 0,1...0,7 мм. Радиальный зазор в 12...20 раз меньше.

Установка подшипников в корпус выполняется аналогично. Отличие в том, что нагревают при этом корпус. При невозможности нагрева корпуса — охлаждают подшипник.

Конические роликовые подшипники позволяют выдерживать одновременно большую нагрузку, как в радиальном, так и в осевом направлении. Зазоры в таких подшипниках не зависят от их посадки на валу и в корпусе. Регулирование зазоров производится при сборке подшипниковых узлов.

Монтаж конических роликовых подшипников производится отдельно, то есть внутреннее кольцо с роликами и сепаратором напрессовывается на вал, а наружное кольцо — в корпус.

При этом особо тщательно необходимо следить за правильностью запрессовки наружного кольца» Для предотвращения перекоса его запрессовывают с применением специальных приспособлений.

Радиальный зазор в коническом подшипнике регулируется путем осевого смещения наружного кольца на величину «С» (см. с. 44, рис. 23), которую находят по ГОСТу в зависимости от размера и конструкции подшипника.

Необходимые зазоры достигаются применением прокладок, регулировочных гаек или винтов (см. с. 44, рис. 24).

Снятие подшипников качения с вала или корпуса производится при помощи прессы или съемников.

В сборочных единицах, подверженных воздействию больших инерционных сил, для уменьшения габарита и веса применяются игольчатые подшипники. Рабочими поверхностями подшипника часто являются поверхности вала и сопрягаемой с ним детали (см. с. 46, рис. 25).

Для устранения перекашивания иглы устанавливаются весьма плотно в беговом зазоре. При этом суммарный зазор достигается не более 1,5...2 мк. Радиальный зазор допускается в пределах 0,02...0,13 мм (при диаметрах подшипников 25...100 мм). Торцовый зазор между иглами и буртиками 0,1...0,2 мм.

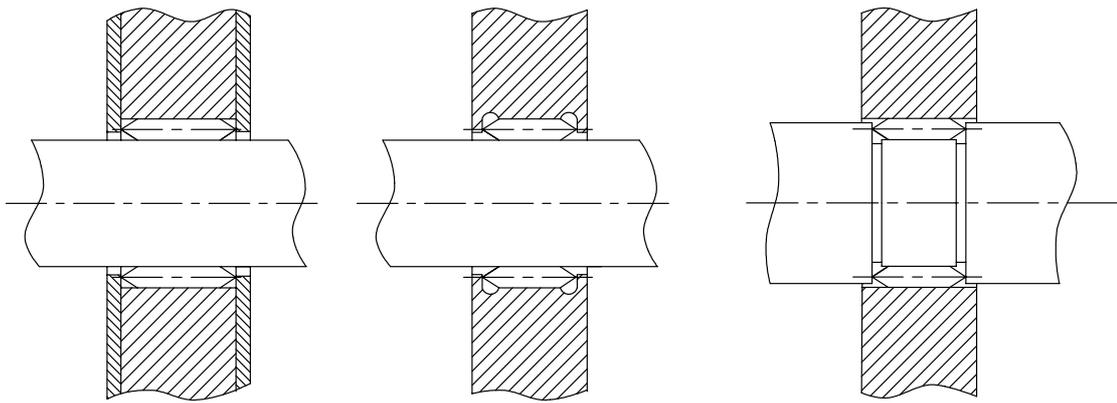


Рис. 25. Схемы сборочных единиц с игольчатыми подшипниками

Оборку игольчатого подшипника производят с применением ложного валика с диаметром на 0,1...0,2 мм меньше действительного (рис. 26а). Рабочие поверхности смазываются солидолом, удерживающим иглы от рассыпания. Иглы устанавливают в зазор по 2...3 штуки последовательно. Последняя игла должна входить свободно. После окончания постановки игл устанавливают ограничительные кольца, вставляют действительный валик, который вытесняет ложный валик (рис. 26б).

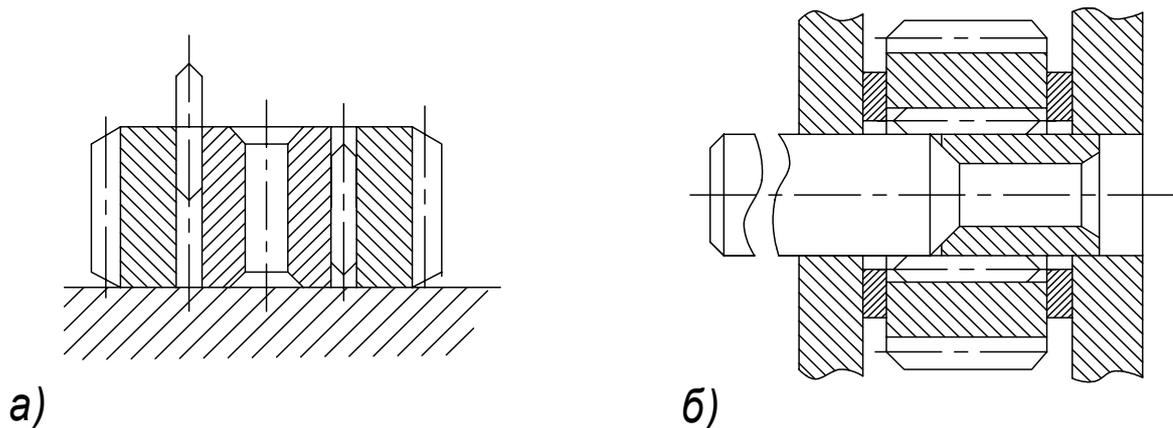


Рис. 26. Сборка игольчатого подшипника

Собранный подшипник проверяется на вращение, которое должно быть свободным, без заедания.

#### 8.4. Сборка соединений по плоским поверхностям

Для определения взаимного положения деталей, сопрягаемых по плоскости, применяются многие методы: использование отверстий под болты, винты, шпильки, установка на штифтах, установка по четкам, центрирование на буртах.

Отверстия под болты в деталях могут быть просверлены заранее, затем устанавливаются и слабо затягиваются крепежные болты, и правильность взаимного положения деталей достигается регулированием за счет зазоров между отверстиями и крепежными болтами. После оконча-

тельной затяжки производят сверление отверстий под штифты, которыми детали фиксируются в определенном положении. Для возможности разборки штифты со снимаемой деталью соединяются по подвижной посадке. Штифты применяются цилиндрические и конические. Для удобства выпрессовки штифтов в торце их предусматривают резьбовое отверстие.

Встречаются случаи, когда базовые поверхности параллельны, но не лежат в одной плоскости (рис. 27). В этом случае, если нет конструктивных ограничений, по одному из стыков устанавливают упругую прокладку, что сокращает трудоемкость изготовления. При сборке часто выявляется необходимость создания плотного соединения. Для обеспечения этого требования в стыке устанавливают специальные прокладки (из паронита, прорезиненного асбеста, картона и т.п.) или заливают уплотняющие пасты и мастики.



Рис. 27. Применение упругих прокладок при установке деталей по двум параллельным плоскостям

Для создания точной базовой поверхности без дополнительных пригоночных работ в настоящее время начинают широко применять пластмассы. После выверки сопрягаемых поверхностей в зазор между ними подается пластмасса АСТ-Т, в результате чего после затвердения получают ровную и точную базовую поверхность. Применением пластмасс может быть значительно сокращена трудоемкость подготовки сопрягаемых поверхностей. Они могут быть обработаны грубо или совсем не обрабатываться.

### 8.5. Сборка подвижных конусных соединений

Подвижные конусные соединения находят применение в запорных устройствах (пробковые краны, клапаны) и в регулируемых подшипниках качения и скольжения, упорных пятах.

Подвижные конусные соединения, препятствующие проникновению газов и жидкостей, часто при сборке подвергают пригонке.

Так, плотность прилегания клапанов к фаске гнезда блока или его головки часто достигается за счет притирки. В массовом производстве кла-

панов плотность соединения достигается за счет шлифования фаски клапана и чистовой обработки гнезд.

Притирку клапанов производят на специальных многошпиндельных притирочных станках. Притирка запорных пробковых кранов трудоемкая операция. Для ее выполнения в настоящее время применяют специальные механизированные приспособления.

Контроль качества притирки и сборки конусных соединений осуществляют внешним осмотром сопрягаемых поверхностей, заливкой керосина (проверка на просачивание), а также специальными приборами и установками для замера компрессии.

После притирки сборочные единицы тщательно промывают и обдувают воздухом. Остатки абразива на сопрягаемых поверхностях недопустимы, так как это приводит к появлению надиров и нарушению плотности соединения.

### 8.6. Сборка зубчатых и червячных передач

Нормальная работа зубчатых колес требует выполнения при сборке ряда условий, наиболее существенные из которых следующие:

точка касания зубьев зубчатых колес должна находиться на начальной окружности;

работа зубчатого зацепления должна быть плавной, без толчков и рывков.

Эти требования должны обеспечиваться не только качественным изготовлением деталей в механическом цехе, но и правильно построенным технологическим процессом сборки.

При сборке зубчатых передач выполняют следующие работы:

а) установку зубчатого колеса на валу;

б) установку залов с зубчатыми колесами в корпусе;

в) регулирование и контроль зацепления зубчатых колес.

Цилиндрические зубчатые передачи составляют 75...80% общего количества передач. Посадку цилиндрических колес на центрирующие поверхности вала производят под прессом с применением специальных приспособлений, назначение которых заключается в обеспечении установки колеса на посадочной шейке без перекоса.

Необходимость предотвращения перекосов следует предусматривать и при демонтаже зубчатых колес; снятие колес производится также под прессом или с помощью съёмников.

Перед запрессовкой колеса следует проверить состояние сопрягаемых поверхностей. При запрессовке до упора следует убедиться в наличии фаски нужного размера.

При установке зубчатых колес наиболее часто встречаются следующие погрешности: качание зубчатого колеса на шейке вала, радиальное биение начальной окружности, торцовое биение и неплотное прилегание к упорному буртику вала.

Биение проверяется на специальных контрольных приспособлениях индикаторами и эталонными шестернями, плотность прилегания контролируют щупом. Радиальное биение зубчатого венца допускается в пределах 0,025...0,075 мм, торцовое — 0,10...0,15 мм.

Качество зубчатого зацепления обычно обеспечивается выполнением всех элементов соединения в пределах допусков согласно стандартам.

При сборке в условиях единичного и мелкосерийного производства проверяются боковой зазор и радиальный зазоры, а также правильность зацепления по пятну, контакта. Оно должно находиться в средней части боковой, поверхности зубьев (рис. 28а). При неправильном контакте пятна смещаются (рис. 28б и 28г).

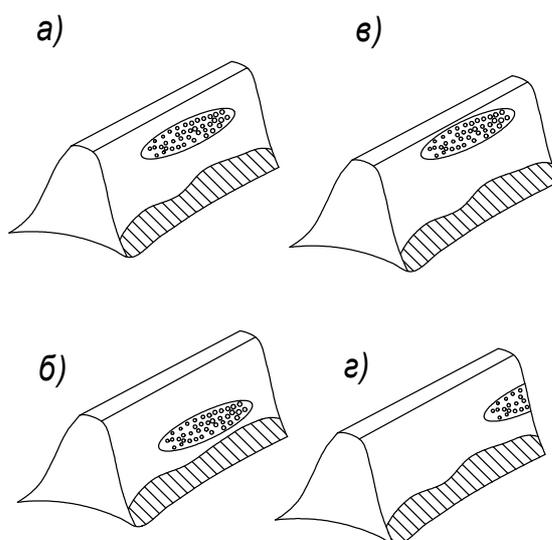


Рис. 28. Формы пятен при контроле зацепления на краску

Собранные быстроходные зубчатые передачи часто подвергают, обкатке с замером передаваемых крутящих моментов и уровня шума. Повышенный шум свидетельствует о дефектах изготовления или сборки зубчатых колес. Нормы шумности стандартизированы.

Зубчатые колеса конических передач имеют зуб переменной толщины, что усложняет как изготовление, так и сборку этих колес. Для обеспечения правильной работы конической передачи необходимо выполнение при сборке следующих условий;

зубчатые колеса должны иметь правильный профиль и точную толщину зуба;

оси отверстий или шеек зубчатых колес должны проходить через центр начальной окружности и не иметь перекосов;

оси гнезд в корпусе должны лежать в одной плоскости, пересекаться в определенной точке, под требуемым углом;

опорные детали передач (подшипники, стаканы и т.п.) не должны иметь ни смещения, ни перекоса осей.

Большое значение имеет обеспечение совпадения вершин делительного конуса обоих сопрягаемых колес.

С этой целью производится проверка окончательно изготовленных колес на специальных приборах по эталонному сопрягаемому колесу.

О качестве зацепления судят по пятну контакта (рис. 29). Опыт показывает, что лучшим будет случай, когда пятно контакта с эталонной шестерней будет располагаться ближе к тонкому концу зуба (рис. 29а), вследствие того, что, во-первых, при деформации зуба в работе контакт будет увеличиваться (рис. 29б) и, во-вторых, тонкая сторона зуба скорее прирабатывается. Пятно контакта не должно доходить до края зуба по длине 1,5...3,0 мм и по высоте 0,4...1,0 мм. Нормы на контакт конических передач несколько ниже норм на контакт зубьев цилиндрических колес.

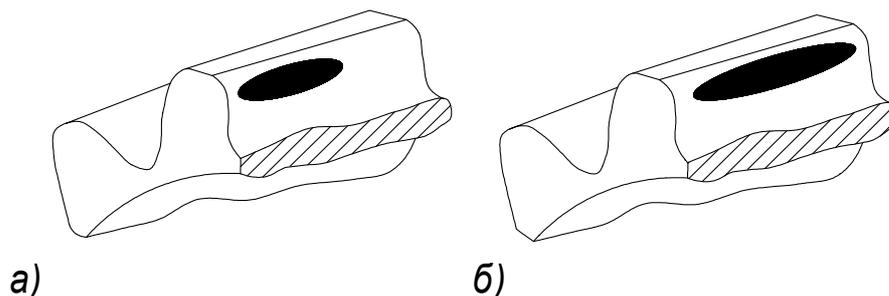


Рис. 29. Пятно контакта при проверке конического зубчатого колёса на краску

Сборка конической передачи заключается в регулировании зацепления, для чего колеса перемещают по направлению осей до совпадения воображаемых вершин их конусов. В этот момент зазор между зубьями будет требуемый и одинаковый по всей окружности. При регулировании могут перемещаться оба колеса или одно колесо.

После окончания регулировки положение зубчатых колес фиксируется регулировочными кольцами (прокладками) или регулировочными гайками.

Регулирование с одним неподвижным колесом проще и осуществляется следующим образом. Одно из зубчатых колес устанавливается прокладками по определенной координате и закрепляется. После этого сборщик ориентировочно устанавливает сопрягаемое зубчатое колесо с помощью набора прокладок и проверяет зазор. Если зацепление неудовлетворительное, устанавливается новый набор прокладок и снова проверяется зазор. При соответствующем навыке нормальное зацепление получается после двух-трех проб.

В серийном и массовом производствах операцию регулирования выполняют на специальных стандах.

Сборка червячной передачи начинается со сборки узла червячного колёса, то есть сборки венца со ступицей. Венец устанавливают на ступицу, сверлят и нарезают резьбу в отверстиях под стопоры, ввертывают стопоры и раскернивают их. После этого проверяют биение венца. Аналогично производится сборка колеса, венец и ступица которого стягиваются болтами.

Монтаж червячных зубчатых колес на валах и проверку их осуществляют так же, как и в случае сборки цилиндрических колес.

Правильность зацепления определяется соблюдением заданных угла скрещивания осей червяка и червячного колеса, межцентрового расстояния, бокового зазора в зацеплении, а также совпадения средней плоскости колеса с осью червяка.

Для осуществления этих проверок существуют специальные приспособления.

Комплексную проверку правильности зацепления осуществляют проверкой на краску. При правильном зацеплении червяка краска должна покрывать поверхность зуба червячного колеса на 60...70% по длине и высоте.

Собранные зубчатые и червячные передачи для приработки трущихся поверхностей, контроля сборки и проверки в условиях, близких к эксплуатационным условиям, подвергают обкатке под нагрузкой.

### 8.7. Балансировка деталей и узлов

Массивные детали (роторы турбины, маховики, шпиндели станков, патроны, муфты и т.п.), которые вращаются с большой скоростью, должны быть уравновешены. Им необходимо проходить операцию балансировки.

Наличие дисбаланса вращающихся деталей является причиной возникновения значительных динамических сил, которые вызывают явления вибрации, преждевременный выход из строя машины.

Величина допустимой неуравновешенности устанавливается конструктором на стадии проектирования машины. Затем корректируется в процессе изготовления и испытания, экспериментальных образцов машин.

Балансировка производится в механических цехах при изготовлении детали. Часто после сборки выявляется необходимость проверки на уравновешенность всего узла.

Балансировка осуществляется с целью устранения неуравновешенных сил во вращающихся деталях и узлах. Она может быть статическая и динамическая.

Статическая балансировка производится на горизонтальных призмах (см. с. 52, рис. 30а), на дисковых роликах (см. с. 52, рис. 30б) и операционных станках.

Статическая балансировка имеет целью обнаружение и устранение неуравновешенной силы, которая вызывается смещением центра тяжести детали относительно ее оси вращения.

Устранение дисбаланса производится удалением в нужных местах металла сверлением, растачиванием, шлифованием или, наоборот, добавлением его заклепыванием, сваркой и т.п.

Методы статической балансировки применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

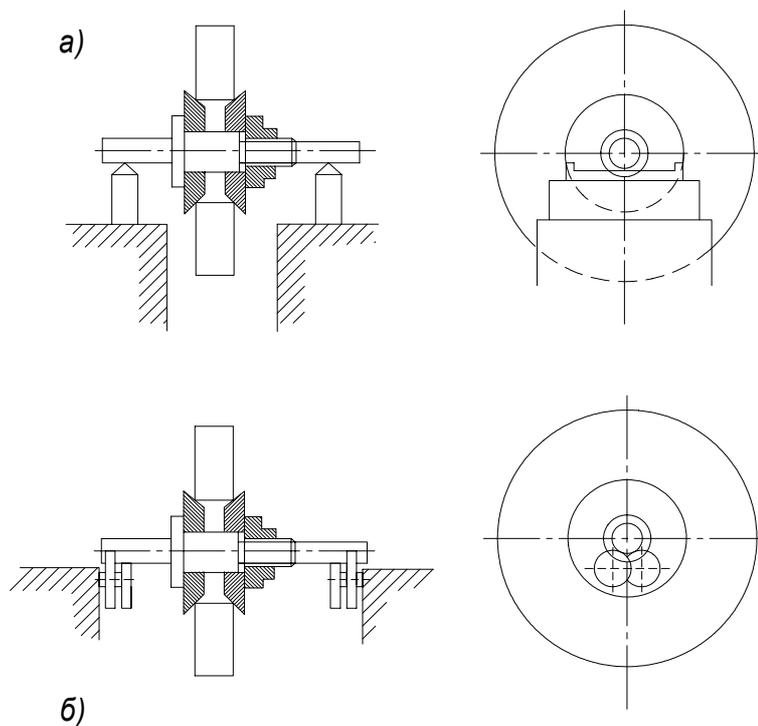


Рис. 30. Схемы статической балансировки

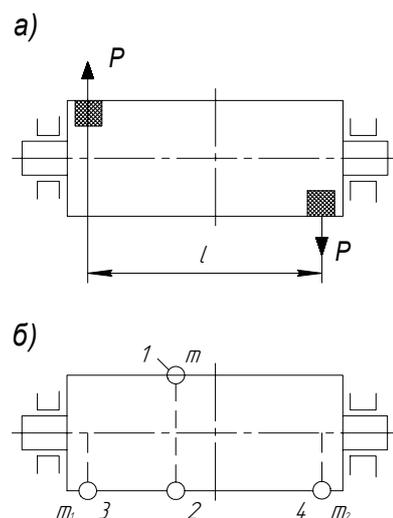


Рис. 31. Схемы динамической неуравновешенности

В массовом и крупносерийном производстве находит применение более точный и производительный метод статической балансировки в динамическом режиме. В этом случае балансируемый узел вращается с повышенной скоростью.

Для ее выполнения выпускаются станки мод. 9764, обеспечивающие высокую производительность и точность балансировки.

Устранение дисбаланса производится без снятия детали со станка.

Динамическая балансировка применяется для уравнивания вращающихся узлов, имеющих большую сравнительно с диаметром длину (шпиндели, роторы турбин, коленчатые валы).

Например, пустотелый цилиндр (см. с. 52, рис. 31а), изготовленный точно и из однородного материала, статически вполне уравновешен, если в местах, отмеченных на схеме, имеется по одинаковому грузу. Однако при вращении цилиндра эти грузы создадут неуравновешенную пару сил с плечом, которая вызовет вибрацию детали. Задачей динамической балансировки является устранение такой пары сил.

Принцип устройства балансировочного станка состоит в следующем.

Если деталь (см. с. 52, рис. 31б) имеет лишнюю массу  $m$  в точке 1, то она может быть уравновешена добавлением либо такой же в точке 2, либо в точках 3 и 4 соответственно масс  $m_1$  и  $m_2$ , обратно пропорциональных их расстояниям от плоскости 1-2.

Отечественная промышленность выпускает универсальные и специальные балансировочные станки для изделий до 100 т.

ЭНИМСом разработана гамма станков для уравновешивания легких, средних и тяжелых роторов (станки типа 9710, 9715, 9719Б). Станки для уравновешивания деталей и узлов одновременно в двух плоскостях созданы в МВТУ им. Баумана.

В массовом производстве получают распространение автоматизированные балансировочные станки, в которых все операции, начиная с установки детали и кончая устранением дисбаланса, выполняются автоматически. При введении контроля на вибрацию полностью собранных изделий исключают из процесса балансировку отдельных сборочных единиц.

## 8.8. Сборка маховиков и шкивов с валами

Маховики и шкивы могут крепиться на валу: на конус и шпонке, на цилиндрической шейке с помощью призматической или клиновой шпонки, а также на фланце болтами.

Крепление по конусу с точки зрения центрирования наиболее предпочтительное. Однако такое крепление требует точного изготовления двух конусных поверхностей, а также маховик утяжеляется за счет ступицы, которая не создает махового момента.

Сравнительно часто встречается установка маховика на фланце. Маховик центрируется выточкой по фланцу с небольшим зазором и крепится болтами, плотно входящими в отверстия фланца и с зазором (0,04...0,10 мм) в отверстия маховика. Ступица маховика должна плотно прилегать к торцу фланца.

Маховик, базирующийся по цилиндрической поверхности, напрессовывают на вал с небольшим натягом с применением специальных приспособлений (механических и гидравлических), упрощающих эту операцию.

После закрепления маховика или шкива на валу узел проверяют на радиальное и торцовое биение.

Перед установкой на вал маховик (шкив) должен быть сбалансирован. В быстроходных передачах производится повторная балансировка валов в сборе с маховиками.

Порядок установки шкивов на валы обычно не отличается от установки маховиков. Некоторую особенность представляет контроль положения шкивов ременной передачи. Торцы этих шкивов должна лежать в одной плоскости.

## 9. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОСЛЕСБОРОНЫХ РАБОТ

### 9.1. Контроль качества изделий

Контроль в сборочных цехах осуществляют в процессе сборки сборочных единиц и изделий, и после окончания сборки.

В процессе сборки, особенно при выполнении регулировочных работ, точность затяжки резьбовых соединений, легкость и плавность поворота зубчатых передач, а также различные зазоры в соединениях проверяют на рабочем месте непосредственным исполнителем.

Однако в процессе сборки сборочной единицы может возникнуть необходимость выполнения контрольных операций, требующих больших затрат времени и применения специальной аппаратуры и оборудования.

В этом случае операция контроля выделяется в самостоятельную контрольную операцию. Для выполнения этих операций должны быть предусмотрены соответствующие рабочие места для контролеров (особенно при поточной сборке).

В зависимости от сложности и ответственности собираемого изделия контролю подвергаются либо все изделия, либо определенная их часть (10, 20, 30, 50%). Контрольные операции выполняются согласно технологическим картам контроля, в которых указывается метод и последовательность проверки, применяемое оборудование и инструменты.

В условиях поточного производства продолжительность контрольных операций должна быть согласована с тактом сборочной линии.

Испытания сборочных единиц и изделия

Заключительной контрольной операцией технологического процесса изготовления изделий является испытание. При испытаниях проверяют правильность сборки, правильность функционирования различных элементов управления и блокировки, соответствие техническим требованиям. При испытаниях осуществляется общая проверка качества; достигнутого как в процессе изготовления деталей, так и сборки составных частей и изделия в целом.

Испытания изделий, как правило, выполняют на специальных испытательных участках. Это обуславливается тем, что процесс испытаний обычно сопровождается повышенным шумом, выделением газов, дыма, особенно при испытании двигателей или собранной машины.

Вид и программа испытаний определяются конструктором и включаются им в технические условия на изделие.

Все производственные испытания могут быть сведены к следующим испытаниям: приемочным; контрольным; специальным.

Приёмочные испытания выполняют для определения фактических эксплуатационных характеристик изделия или его сборочной единицы, например, мощности, затрат горючего, геометрической точности, правильности работы механизмов и т.д. Поступающие на испытания агрегаты должны иметь сопроводительную карту, в которую контролер заносит все замечания, возникающие в процессе испытаний. Изделия, у которых выявляются дефекты, вместе с картой испытаний передают на участок доработки.

Контрольным испытаниям подвергают только те изделия, у которых во время приёмочных испытаний были обнаружены и на участках доработки устранены дефекты. Контрольные испытания проводят по тем же техническим условиям, что и приёмочные.

Специальные испытания проводят в случае, когда необходимо изучить какое-нибудь явление в машине, а также в случае замены материала одной или нескольких деталей или замены технологии обработки. Программу и режимы этих испытаний разрабатывают в зависимости от целей их проведения.

В зависимости от вида и назначения испытаний и программы выпуска изделия и сборочные единицы подвергаются испытаниям на холостом ходу или под нагрузкой.

При испытаниях изделий на холостом ходу проверяют правильность работы механизмов управления, надежность блокировки, точность и безотказность различных автоматических устройств.

Испытания под нагрузкой проводят в условиях, близких к реальным условиям работы изделия. Такие испытания позволяют проверить правильность сборки, а также прочность и долговечность деталей.

Для получения более полных данных о качестве продукции собранные изделия проверяют во время стационарных испытаний, заводских и сдаточных пробегов, а также наблюдают за группой машин, работающих в обычных условиях эксплуатации, анализируют поступающие от потребителей рекламации.

## 9.2. Окраска сборочных единиц и изделий

Лакокрасочные покрытия предназначены для защиты изделий от коррозии и придания им красивого внешнего вида.

В зависимости от условий эксплуатации и требований, предъявляемых к деталям к изделиям, на поверхность металла могут быть нанесены несколько слоёв грунта, краски, лака, только краски, только лака.

Для каждой отрасли машиностроения имеются утвержденные марки грунтов, красок, эмалей, лаков, растворителей к ним, а также типовые технологические процессы окраски, что значительно упрощает разработку процесса окраски.

Технологический процесс окраски включает три основных этапа: подготовку поверхностей под окраску, нанесение лакокрасочных покрытий и сушку окрашенных поверхностей. Иногда при высоких требованиях к каче-

ству окрашенных поверхностей, после грунтовки или после первых слоев краски производят выравнивание поверхностей шпатлеванием с последующим шлифованием.

В практике применяют механические и химические методы подготовки поверхности под окраску. Механические методы: гидropескоструйная, гидроабразивная обработка, обработка в галтовочных барабанах с песком или стальными шариками. Обработка механизированными электрическими шлифовальными машинками, проволочными вращающимися щетками.

При химическом методе подготовки поверхности обезжиривают, очищают от ржавчины травлением и подвергают оксидированию или фосфатизации.

Процесс окраски включает грунтование, шпатлевание и нанесение краски.

После подготовки на поверхность наносят слой грунта (толщиной 0,3...0,4 мм), который должен защищать деталь от коррозии и обеспечивать хорошее сцепление с металлом и последующими слоями краски.

После высыхания грунта ответственные поверхности шпатлюют для выравнивания мелких неровностей. Толщина слоя шпатлевки должна быть не более 0,5 мм, так как с увеличением толщины уменьшается прочность покрытия.

Далее поверхность шлифуют абразивной водостойкой шкуркой для удаления шероховатостей и мелких неровностей.

Для окраски деталей машин применяют разнообразные синтетические и нитроцеллюлозные эмали.

В настоящее время для окраски ответственных поверхностей (например, автомобильных кузовов) всё шире применяют синтетические эмали. Они обладают лучшими защитными и декоративными свойствами и не требуют полировки.

Лакокрасочные покрытия наносят следующими методами: кистью, воздушным и безвоздушным распылением, окунанием, обливанием, в электростатическом поле, электроосаждением. Наиболее прогрессивными и легко поддающимися автоматизации являются два последних метода.

Детали и изделия, окрашенные различными методами, подвергают искусственной или естественной сушке. Многие лакокрасочные материалы способны образовывать качественное покрытие только при нагреве, поэтому сушку окрашенных изделий производят в сушильных камерах.

В зависимости от способа передачи теплоты различают конвенционную, терморadiационную и индукционную сушку. Преимущества последних двух методов является то, что слой краски прогревается от металла наружу, а, следовательно, высыхание начинается от нижних слоев. Сушильные камеры, как и окрасочные, могут быть тупиковыми или проходными. Первые применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства, вторые — в серийном и массовом производстве.

### 9.3. Консервация и упаковка изделий

Изделие после сборки и испытания не сразу поступает в эксплуатацию. Иногда этот нерабочий период может быть продолжителен. Чтобы предохранить изделия от коррозии, их подвергают консервации. Стандартами предусмотрены различные методы консервации, учитывающие различные факторы (конструкция изделия, материалы, условия хранения, климатические условия и др.).

Консервацию металлических изделий производят:

нанесением смазки или ингибитора;

упаковкой в ингибированную бумагу; помещением в атмосферу, насыщенную парами ингибитора;

помещением в герметизированный пленочный чехол с силикогелем или инертной атмосферой.

Теми же стандартами предусматриваются процессы подготовки поверхностей изделий под консервацию, а также основные варианты систем внутренней упаковки изделий с применением парафинированной бумаги, чехлов из полиэтиленовой или поливинилхлоридной пленки, картонных коробок и герметизирующих составов. Установлены также способы расконсервации изделий.

Процессы консервации, а также упаковка изделий массового производства осуществляются на многих предприятиях с применением механизированных средств, а при изготовлении малогабаритных изделий (подшипников качения) — процессы консервации и упаковки автоматизируются.

## 10. ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

### 10.1. Организационные формы сборки

По формам организации работ сборка может быть стационарной или подвижной.

При стационарной сборке изделие находится в течение всего процесса на одном неподвижном рабочем месте, к которому подаются все сборочные единицы и детали.

Выполнение процесса сборки при этом может осуществляться различными методами:

1) изделие собирается полностью на одном сборочном рабочем месте от начала до конца. Недостатками этого метода являются длительный цикл и высокая стоимость сборки. Метод применяется в единичном производстве и если есть возможность по условиям производства, следует отказаться от него и переходить на более совершенные методы;

2) изделие собирается из деталей и сборочных единиц, предварительно собранных на других рабочих местах другими рабочими. Цикл общей сборки изделия при этом сокращается, возможна специализация ра-

бочих, квалификация рабочих используется лучше как на общей, так и на узловой сборке. Метод используется в серийном производстве;

3) изделия остаются на рабочих местах в течение всего времени сборки, а рабочие переходят от одного рабочего места к другому по световому или звуковому сигналу, подаваемому через определенное время, равное такту. Этот метод называется стационарной поточной сборкой.

Инструмент рабочего или группы рабочих находится на подвижном столе и перемещается вместе с рабочими. Преимуществами этой сборки являются равномерный выпуск изделий (обеспечивается заданным тактом) и более высокие технико-экономические показатели.

Подвижная сборка характерна тем, что изделие в процессе сборки перемещается от одного рабочего места к другому и рабочим (или группой рабочих), находящимся на этом рабочем месте, выполняются определенные сборочные операции, закрепленные за этим рабочим местом, оснащенным необходимым оборудованием и инструментом. Детали и сборочные единицы, необходимые для сборки на данной операции, подаются непосредственно на рабочее место.

Подвижная сборка может быть непоточная и поточная. При непоточной подвижной сборке после выполнения сборочных операций рабочий перемещает собираемую сборочную единицу на следующее рабочее место. Поскольку продолжительность выполнения операций колеблется, необходимо иметь небольшие межоперационные заделы. Такой вид сборки применяется в серийном производстве.

Наиболее совершенной формой сборки является поточная подвижная сборка с непрерывно или периодически перемещающимися собираемыми изделиями. При поточной подвижной сборке технологический процесс расчленяется на простейшие операции, требующие малой и примерно одинаковой затраты времени на выполнение. Для каждой операции устанавливается определенное рабочее место и определенный рабочий (или группа рабочих) выполняет только эту одну операцию. Изделие, находящееся на транспортирующем устройстве, перемещается; рабочий (или группа рабочих) выполняет свою операцию тогда, когда изделие подойдет к их рабочему месту.

При непрерывном перемещении изделий рабочие выполняют свои операции во время движения конвейера, пока изделие проходит зону рабочего места. При этом скорость конвейера должна соответствовать продолжительности операции, а, следовательно, и такту выпуска.

При периодическом перемещении изделия сборочные работы выполняются при остановке конвейера. Продолжительность остановки должна соответствовать продолжительности выполнения операции. Таким образом, суммарное время сборки и перемещения изделия от одного рабочего места к другому должно соответствовать такту выпуска.

Движение конвейера, непрерывное или периодическое, принимается в зависимости от размера выпуска изделий, такта выпуска, характера из-

делий, трудоемкости и сложности сборочных операций и других технологических факторов.

Например, в автотракторостроении чаще применяется непрерывное движение конвейера, в станкостроении, где годовой выпуск значительно меньше, — периодическое.

## 10.2. Оборудование сборочных цехов

Оборудование сборочных цехов разделяется на технологическое, вспомогательное и транспортное оборудование. Технологическое оборудование предназначено непосредственно для осуществления подвижных и неподвижных соединений деталей в сборочных операциях. Вспомогательное оборудование используется как установочное в процессе выполнения сборочных операций. Транспортное оборудование — для межоперационной передачи.

О технологическом оборудовании говорилось в главах, где описывались методы сборки различных сборочных соединений.

Вспомогательное оборудование можно разделить на транспортное, подъемное и установочное оборудование.

В качестве подъемного оборудования при сборке применяются различные домкраты, лебёдки, тали, электрические и пневматические подъемники. Совмещение функций подъема и транспортирования объектов сборки достигается применением тельферов, мостовых кранов, кранбалок, поворотных и передвижных напольных кранов.

Для подвижной сборки изделий применяются следующие транспортные средства: рольганги, рельсовые и безрельсовые тележки и конвейеры. Рольганги могут быть однорядные и двухрядные (по количеству рядов роликов), горизонтальные и наклонные (по угловому расположению относительно горизонтальной поверхности пола).

Горизонтальный рольганг устанавливают на высоте 0,6...0,8 м. от пола. Движение грузов производится под действием приложенной к ним силы (толчка). Рольганг наклонный или гравитационный имеет уклон до 5°. Изделия движутся под действием сил тяжести, а останавливаются на рабочих позициях посредством специальных упоров. Преимуществом применения рольгангов является простота конструкции, дешевизна изготовления и эксплуатации. Недостаток их — возможность транспортирования, деталей, имеющих большую опорно-базовую поверхность.

Сборочные тележки часто применяют при сборке в дизелестроении, станкостроении и других машиностроительных отраслях. Тележки с закрепленными на них изделиями перемещают от одного рабочего места к другому или по полу (безрельсовые тележки), или по рельсам, укладываемым заподлицо с полом, или несколько утоплено.

Сборочные конвейеры по назначению несущего органа делятся на рабочие (несущий орган используется для выполнения технологических процессов сборки и межоперационной транспортировки) и распределительные.

тельные (несущий орган используется лишь для межоперационной транспортировки), а сборка осуществляется со съёмом изделия на рабочее место.

По характеру движения рабочего органа конвейеры могут быть с непрерывным и пульсирующим движением несущего органа, а по расположению рабочего органа они делятся на подвесные, эстакадные и напольные конвейеры.

Разберем особенности основных типов сборочных конвейеров.

а) Конвейеры пластинчатые вертикально-замкнутые выполняются рабочими эстакадного и напольного типа. На таком конвейере собираются узлы, не требующие кантования в процессе сборки. Масса собираемых узлов на конвейерах эстакадного типа — до 40 кг, напольного типа — до 2000 кг. Скорость движения пульсирующего конвейера — 5...15 м/мин, непрерывного — 0,3...1,0 м/мин.

б) Конвейеры пластинчатые горизонтально-замкнутые выполняются рабочими и распределительными. Рабочие применяются в линиях с жесткой связью рабочих позиций. Эти конвейеры имеют пульсирующее движение со скоростью 5...15 м/мин. Масса собираемого узла до 20 кг.

Распределительные пластинчатые горизонтально-замкнутые конвейеры применяются в несинхронных сборочных линиях и имеют непрерывное движение со скоростью 6...26 м/мин. Масса собираемых узлов до 6 кг.

в) Конвейеры тележечные горизонтально-замкнутые делятся на рабочие, применяемые в сборочных линиях с жесткой связью, и распределительные, применяемые в несинхронных сборочных линиях. Конвейеры рабочие имеют непрерывное движение со скоростью 0,3...3,0 м/мин и пульсирующее — 4...6 м/мин. На этих конвейерах можно собирать изделия массой до 100...200 кг,

г) Конвейеры тележечные вертикально-замкнутые являются только рабочими, и движение тележек имеют непрерывное и пульсирующее. Такие конвейеры напольного типа применяются для сборки изделий массой до 8000 кг и эстакадного типа — до 100 кг. Скорость движения тележек — 6...12 м/мин. К недостаткам конвейера относится большая металлоёмкость и обязательное выполнение приямка фундамента глубиной до 2000 мм.

д) Конвейеры подвесные грузонесущие горизонтально-замкнутые делятся на рабочие и распределительные. Рабочие имеют пульсирующее движение со скоростью 12 м/мин. Конструкция этого конвейера обеспечивает удобную сборку изделий массой до 250 кг (двигатели внутреннего сгорания, редукторы и др. изделия). Распределительные конвейеры применяются для сборки мелких изделий (массой до 6 кг).

е) Штанговые конвейеры с точной фиксацией спутников выполняются только рабочими эстакадного типа с пульсирующим движением со скоростью 7...12 м/мин. Конвейеры применяются для сборки изделий массой до 100 кг в линиях с жесткой связью рабочих позиций.

ж) Цепенесущие конвейеры эстакадного типа в качестве рабочего органа имеют две вертикально-замкнутые цепи. На пластинах этих цепей через определенный шаг смонтированы упоры-гнезда для установки базовой детали собираемого изделия. Такие конвейеры применяются для узловых сборки крупногабаритных сборочных единиц тракторов, комбайнов, автомобилей и общей сборки.

Эти конвейеры выполняются с пульсирующим движением цепи со скоростью 6—12 м/мин для изделий габаритом 2000х4000 и массой до 5000 кг и с непрерывным движением цепи со скоростью 0,3...1,0 м/мин для изделий с массой до 5000 кг.

з) Конвейеры грузонесущие выполняются с пульсирующим движением цепи со скоростью 3...6 м/мин для собираемого изделия массой до 10000 кг и непрерывным — со скоростью 0,3...1,0 м/мин с той же массой изделия.

Транспортируемый груз (комбайн, сеялка) перемещается на своем ходом по специальным направляющим. Направляющие проложены на полу вне металлоконструкции конвейера. Перемещаемое изделие соединяется с тяговой цепью штырем, крючком или тягами, которые автоматически или вручную отсоединяются от собираемого изделия в конце конвейера и изделия съезжают своим ходом или стягиваются специальной волокушей.

и) Шагающий конвейер применяется на многих заводах. Он сочетает преимущества стационарной и подвижной сборки. Изделие перемещается с одного рабочего места на другое за счет переменных возвратно-поступательных движений подвижной рамы, на которую укладываются изделия. Шагающие конвейеры имеют преимущества перед другими транспортными средствами:

они могут транспортировать штучные грузы, различные по характеру, массе и габаритам; удобно устанавливаться на уровне пола;

легко встраиваться в поточно-механизированные линии; значительно проще в эксплуатации. Скорость пульсирующего конвейера 1...25 м/мин. На конвейере собираются изделия массой до 15000 кг и выше.

к) Подвесные толкающие конвейеры (ПТК) применяются в несинхронных сборочных линиях. Сборка выполняется на подвеске-спутнике. Сцепление подвесок с цепью осуществляется по команде рабочего по мере готовности выполнения сборочной операции на данном рабочем месте.

Подвески не имеют жесткой постоянной связи с тяговой цепью, которая движется непрерывно, а подвески могут двигаться вместе с цепью, но могут и останавливаться там, где это необходимо. Адресующие устройства в виде селекторных механизмов или штифтов, действующих на конечные выключатели, или устройства с фотоэлементами дают команду для направления тележки по заданному адресу.

В последние годы наблюдается тенденция создания сборочных точно-механизированных линий с отсутствием жесткой связи рабочих позиций (несинхронных линий). Проектирование несинхронных линий выполняется в настоящее время в трех направлениях:

применение простейших транспортных средств — ленточных роликовых конвейеров и неприводных гравитационных рольгангов, на которых изделие перемещается непосредственно, без применения спутника;

применение простейших горизонтально-замкнутых пластинчатых, тележечных, подвесных грузонесущих конвейеров, движущихся с постоянной скоростью и имеющих стеллажи с ячейками по числу операций;

применение конвейеров, спутники которых могут двигаться несинхронно, например, толкающих.

## 11. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ РАБОТ

В зависимости от того, какими способами выполняются элементарные действия сборочного перехода, можно выделить четыре группы уровней сборки.

Ручная сборка. Сборка, при которой все необходимые действия: перемещение деталей, ориентация, силовое замыкание и т.п. выполняются вручную. Используется универсальный слесарный инструмент, универсальные приспособления.

Механизированная сборка. Установка деталей, силовое замыкание деталей выполняются механизмами, например, одно- и многошпиндельными головками, при достаточно значительном объеме действий выполняемых вручную: установка шайб, предварительное ориентирование гаек, установка шпонок, шплинтов и т.п.

Автоматизированная сборка. Часть сборочных позиций оборудования работает в автоматическом цикле. Ручной труд максимально механизирован и применяется для сборки только сложно ориентированных деталей и узлов.

Автоматическая сборка. Все сборочные действия проводятся только механизмами в автоматическом режиме.

Под средствами механизации и автоматизации сборки понимают оборудование и технологическую оснастку, предназначенную для выполнения всех операций производственного процесса сборки. По типу выполняемых операций сборочное оборудование делят на основное и вспомогательное. Основное оборудование выполняет процессы соединения деталей и их фиксацию в сборочной единице в соответствии с требованиями конструкции изделия. Вспомогательное оборудование обслуживает процессы сборки: удаление готовых изделий, перемещение объектов сборки между операциями, ориентацию деталей, контроль процессов сборки.

Для выполнения операций сборки двух деталей необходимо переместить детали в зону сборки, соориентировать их, расположить сопрягаемые поверхности одна относительно другой, соединить их и зафиксировать положение.

Перемещение деталей и сборочных единиц между операциями осуществляется конвейерами, поворотными столами, манипуляторами или роботами.

Проектирование типовых механизированных и автоматических устройств, выполняющих соединение деталей, основано на принципах ТП сборки и агрегатирования сборочного оборудования на основе применения унифицированных узлов. Наиболее эти принципы нашли применение в приборостроении, автомобильной и тракторной промышленности.

### 11.1. Автоматизированные линии сборки узлов машин

Автоматизированные и автоматические линии сборки узлов автомобилей и тракторов являются специализированными и проектируются из типовых элементов. Автоматизированные линии применяются для сборки крупных узлов и агрегатов машин, таких как двигатели,

Задний мост и др. Сборку меньших по размерам узлов и агрегатов, как правило, осуществляют на автоматических линиях.

Для сборки двигателей внутреннего сгорания (ДВС), вне зависимости от объемов выпуска, более характерен уровень механизированной сборки с большим либо меньшим объемом работ, выполняемых механизированным способом.

Техническая литература по технологии двигателестроения в разделах сборки не приводит сколько-нибудь серьезных примеров автоматической сборки двигателей. В качестве примера автоматизированной сборки (на стадии сборочных работ) отмечены сборки таких узлов, как сборка шатунов с поршнями, головок цилиндров, запрессовка втулок в блоки цилиндров, сборка штанг и коромысел, сборка радиаторов, узлов топливной аппаратуры.

Внедрение автоматизации сборки рационально только в тех случаях, когда программа выпуска изделий достаточно высока и срок окупаемости затрат на оборудование за счет снижения трудоемкости процессов и сокращения применения рабочей силы не превышает полутора-двух лет.

В качестве средств механизации при сборочных работах используются электрические и пневматические шпильковерты и гайковерты, средства изменения ориентации изделия в пространстве в процессе сборки, механизмы поворота коленчатого вала при регулировке цикла впрыска топлива.

В процессе общей сборки изделия предпочтение отдается транспортным средствам. Детали к месту сборки могут подаваться подвесными

конвейерами, в некоторых случаях с автоматическим выбором адреса доставки.

Помимо создания автоматов и автоматических линий, предназначенных для сборки типовых сборочных единиц, существует направление, которое характеризуется созданием типовых конструкций сборочного оборудования для выполнения переходов или операций установки характерных деталей в определенном диапазоне их типоразмеров. Эти автоматы применяются на автоматизированных линиях сборки. Например, с помощью таких автоматов в блоки или головки блоков цилиндра устанавливают распределительные валы, имеющие различный диаметр опорных шеек и различное их количество в зависимости от конструкции двигателя.

## 11.2. Средства автоматического контроля сборки

При создании автоматического сборочного оборудования большое значение придается применению контрольных средств. В конструкциях сборочных линий и автоматов предусматривают устройства для контроля наличия деталей в приспособлении (механизме), размеров или положения деталей, параметров процесса соединения.

Контроль наличия и положения деталей в сборочных механизмах необходим для исключения работы механизмов вхолостую и поломок оборудования в случаях отказа механизмов загрузки. Контроль размеров деталей перед автоматической сборкой необходим для проверки соответствия детали техническим требованиям с целью исключения брака по этой причине и отказа сборочного оборудования. Контроль параметров соединения призван надежно обеспечить качество сборки. Этими параметрами могут быть линейные размеры или физические величины. Физические величины, например момент затяжки, усилие запрессовки и другие, контролируют в процессе выполнения соединения.

В конструкциях сборочных автоматов применяют механические, электрические, фотоэлектрические, пневматические и другие устройства контроля.

Механические устройства можно использовать для многих видов контроля. Например, входной контроль наличия резьбы нужного шага у шпильки осуществляется механической гребенкой, момент затяжки гайки контролируется механическим устройством по реактивному моменту на корпусе резьбозавёртывающего механизма.

Основные элементы электрических механизмов контроля являются индуктивные или емкостные датчики, осуществляющие бесконтактный контроль параметров. В основном механизмы с такими датчиками используют для контроля наличия деталей в сборочных устройствах или их положения после ориентации. Принцип работы датчиков основан на изменении электрического тока, проходящего через датчик, при попадании в его поле металлических деталей.

Электрические датчики сопротивления (тензорезисторы) позволяют также измерять параметры процесса. Датчики приклеиваются к измеряемому объекту или специальному элементу измерительного устройства. При возникновении деформаций в конструкции изменяется сопротивление датчика и, следовательно, ток, проходящий через него. По изменению тока судят о значении измеряемого параметра.

Принцип работы пневматических датчиков основан на том, что при попадании детали в струю воздуха, выходящего из сопла, в воздушной системе изменяются параметры давления и расхода. По изменению этих параметров (в основном параметра давления) судят об изменении контролируемого параметра. Эти датчики можно использовать для контроля наличия детали, ее положения и размера. В сборочном процессе пневматические датчики используются редко и только для контроля положения.

Фотоэлектрические датчики работают по следующему принципу. Датчик фотоэлектрический (фотодиод) устанавливают на контролируемой позиции и освещают лампочкой. При прохождении между лампочкой и датчиком детали перекрываются потоки света на датчик, и сопротивление фотодиода изменяется. Механизмы с фотоэлектрическими датчиками нашли широкое применение положения детали.

Например, контроль положения отверстия под смазку у втулки в малой головке шатуна при её запрессовке. Фотодиоды являются чувствительными датчиками. При использовании их для контроля размеров можно определить отклонение размера на несколько микрон.

### 11.3. Автоматизация проектирования технологических процессов сборки

Проектирование технологических процессов (ТП) и с помощью ЭВМ в рамках автоматических систем технологической подготовки производства (АСТП) включает в себя целый ряд подсистем, позволяющих поэтапно решать многоуровневые задачи проектирования — от выбора базовой детали и формирования маршрутов сборки до выбора сборочного оборудования. Основными этапами математического обеспечения являются: математическая модель производственной системы сборки; математическая модель собираемого изделия; алгоритмы проектирования ТП и оснащение сборочных работ. Наибольший эффект применение САПР дает при проектировании ТП автоматизированной сборки.

При проектировании автоматизированной сборки в условиях крупносерийного и массового производств на агрегатном сборочном оборудовании предпочтителен принцип многоуровневой декомпозиции в расчленении процесса проектирования на ряд взаимосвязанных этапов (уровней) и характеризующийся последовательно возрастающей от уровня к уровню степенью детализации проектных решений. На каждом уровне проектирование разбивают на ряд функционально законченных этапов решения

комплекса подзадач данного уровня. При этом соблюдают следующие принципы:

1. Принцип иерархической связи между уровнями проектирования. Высшим является уровень проектирования принципиальной схемы сборки. Низший уровень — разработка операционного техпроцесса сборки;

2. Приоритет действий этапов верхнего уровня на соответствующие этапы низшего уровня.

3. Взаимосвязь действий между уровнями, обеспечивающая наличие обратной связи в системе проектирования.

4. Отбор рациональных вариантов на каждом уровне ТП сборки, что значительно повышает эффективность проектирования в результате последовательного сокращения числа вариантов, подлежащих детальной проработке на последующих уровнях.

Критерии оптимизации на всех уровнях, кроме последнего, имеют, как правило, приближенный эвристический характер и только на последнем уровне, применительно к ограниченной группе вариантов, решается задача одно- или многокритериальной оптимизации.

С учетом системного подхода решение задачи оптимального проектирования производственной системы сводится к определению таких форм совместимости структур и параметров (подсистем) конструкции собираемых изделий, ТП и их сборки, сборочного оборудования и оснастки, при которых наилучшим образом удовлетворялись бы требования принятых критериев оптимальности.

Проектирование ТП с применением ЭВМ разделяется на два этапа:

- 1) разработка принципиальной схемы сборки;
- 2) Разработка операционного ТП.

При решении задач, возникающих при выполнении этапов сборочного процесса, применяют расчетные модели собираемого изделия, разработанные на основе анализа конструкторско-технологических свойств элементов конструкции.

Любая принципиальная схема сборки возможна при условии, что в случае её применения возможен хотя бы один ТП, обеспечивающий требуемое количество изделий. Формализация этапов разработки принципиальных схем и маршрутов сборочных процессов базируется на топологических моделях технологических систем сборки.

Состав сборочных операций определяется видом соединения и отличается большим разнообразием и разнородностью контуров, реализуемых в процессе производства. Для математического моделирования различных операций используют табличные и сетевые модели.

На верхнем уровне моделируется состав и взаимосвязь основных операций при различных видах соединений, а на последующих уровнях —

более подробный состав операций в зависимости от особенностей и параметров контуров соединений.

При проектировании сборочной операции основным переходом, определяющим качество сборки, является выполнение соединений. Безотказность процесса сопряжения зависит от погрешностей положения сопрягаемых поверхностей, точности изготовления технологической оснастки, скорости перемещения, силы взаимодействия поверхностей в процессе сборки.

## 12. АНАЛИЗ И ОТРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ И ЕГО СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Оценка технологичности изделия или сборочной единицы имеет целью установить соответствие конструкции современному уровню развития техники, её экономичности, удобства в изготовлении и эксплуатации.

В соответствии со стандартом оценка технологичности конструкции изделия бывает двух видов: («хорошо — плохо», «допустимо — недопустимо») и количественная (по основным и дополнительным показателям технологичности). Дополнительные показатели технологичности позволяют оценить:

уровень стандартизации и унификации изделия (коэффициент стандартизации  $K_{ст}$ , унификации  $K_{ун}$ , и повторяемости  $K_{повт}$ );

надежность выполнения установленных для изделий функций при минимальном числе основных частей; возможность рационального членения на составные части (коэффициент сборности  $K_{сб}$ );

соблюдение принципа взаимозаменяемости, а также устранение пригоночных и доводочных работ (коэффициент взаимозаменяемости  $K_{вз}$ );

надежность теоретической схемы базирования и соблюдение принципа совмещения сборочной, технологической и измерительной баз;

возможность автоматизации сборочных работ (коэффициент автоматизации  $K_{авт}$ ) ит.п. Пределы измерения всех частных дополнительных показателей одинаковы:

$$0 \leq K_i \leq 1.$$

Для удобства оценки и сравнения конструкций комплексный показатель технологичности  $K_{\Sigma}$  удобно выражать среднеарифметическим значением с учетом экономической эквивалентности («весового» вклада) дополнительных показателей:

$$K_{\Sigma} = \frac{K_1 K_{1э} + K_2 K_{2э} + \dots + K_n K_{nэ}}{K_{1э} + K_{2э} + \dots + K_{nэ}},$$

Где  $K_i$  — частный дополнительный показатель технологичности;

$K_{iэ}$  — коэффициент экономической эквивалентности частного дополнительного показателя  $K_i$ .

Для условий автоматической сборки по значению коэффициента автоматизации можно судить об уровне автоматизации сборки изделия и его составных частей.

Значения  $0 < K_{авт} < 0,45$  соответствует низкой;  
 $0,45 \leq K_{авт} \leq 0,60$  — средней;  
 $K_{авт} > 0,60$  — высокой степени автоматизации.

Количественная оценка следует обычно за качественной; её проводят путем сравнения нескольких вариантов конструкции между собой или с аналогом, соответствующим лучшему отечественному или зарубежному образцу.

Изделие должно иметь простую компоновку и простое решение с минимальным количеством наименований составных частей. Это особенно важно, так как при большом числе деталей сборочная линия получается сложной, многопозиционной и, как следствие этого, малонадёжной в работе. Если рассмотреть автоматизированную жесткоблокированную поточную сборочную линию как сложную систему, то надежность  $P$  её работы определяется как произведение надежностей её элементов (сборочных позиций):

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n .$$

Работа такой линии определяется значением коэффициента технологичности  $K_{ч.д.}$ , который оценивает влияние числа деталей в изделии на надежность и производительность линии.

Для обеспечения высокой производительности сборки, автоматизированные жесткоблокированные линии целесообразно применять при числе сборочных позиций не более 12...16. при большем числе позиций рекомендуют создавать межоперационные заделы или использовать не-синхронный транспорт, обеспечивающий каждой позиции независимую работу со своим тактом.

Поэтому одним из главных направлений отработки конструкции изделия на технологичность является её упрощение за счет сокращения количества деталей, замены соединений, трудновыполнимых для механизированной сборки.

Конструкция изделия должна предусматривать удобство её сборки и разборки (ремонтпригодность). Для этого, прежде всего она должна расчленяться на составные части (сборочные единицы), сборку которых можно произвести обособленно и самостоятельно на отдельных сборочных участках или роботизированных сборочных комплексах. Если механизмы изделия являются одновременно и его составными частями, то перед по-

дачей на общую сборку они проходят контроль и испытания, что устраняет появление дефектов на общей сборке и повышает качество изделия.

Использование унифицированных стандартных деталей и составных частей не только сокращает трудоемкость и стоимость их изготовления, но и ведет к сокращению номенклатуры сборочного оборудования и инструмента. Так, число автоматических сборочных позиций, их конструктивное исполнение и сложность зависит от унификации элементов собираемого изделия.

Если речь идет о независимых соединениях, которые можно выполнять в любой последовательности, то коэффициент повторяемости характеризует возможность применения многошпиндельных сборочных позиций. При этом число последних одноцелевого назначения будет зависеть от рационального расположения этих соединений в изделии: расстояние между ними должно быть равно или больше минимального допустимого расстояния между осями исполнительных сборочных механизмов.

Если собираемое изделие имеет повторяющиеся зависимые соединения, выполняемые в определенной последовательности и отдельно во времени, так как между ними устанавливаются другие детали, то коэффициент повторяемости характеризует число одинаковых сборочных позиций в линии. Затраты на подготовку производства и проектирование таких позиций сокращаются.

В роботизированных сборочных комплексах коэффициент повторяемости характеризует сокращение типоразмеров захватных подающих устройств, исполнительных механизмов и времени на их замену.

Применение унифицированных элементов и составных частей конструкции позволяет применять типовое стандартное сборочное оборудование, стоимость которого гораздо ниже. При разработке оригинального сборочного автоматического оборудования затраты на его проектирование, изготовление опытных образцов и отладку возрастает в 1,8...2,0 раза.

Кроме того, для автоматической сборки очень важным является направление сборочного движения  $V$ . Число направлений сборочных движений  $V_i$  при сборке изделия должно быть минимальным, так как от этого зависит структура сборочной линии, число её позиций, комплект оснастки, её габариты, производительность сборки. Для условий автоматической сборки наилучшим движением является вертикальное движение сверху вниз  $V_1$ . Сборочное движение  $V_1, \dots, V_6$  практически невозможно осуществить без кантования собираемого изделия. Горизонтальное направление сборочного движения неприемлемо для большинства сборочных роботов. Поэтому при  $\sum V_i > 1$  собираемое изделие приходится кантовать, ибо сборка в горизонтальном положении накладывает дополнительные требования к точности положения собираемых деталей и к точности позиционирования сборочного робота. Каждое кантование ведет не только к повышению стоимости сборки, но и к удлинению сборочного цикла.

Влияние направления сборочного движения при автоматической сборке изделия оценивается коэффициентом  $K_v$ .

Для достижения требуемой точности взаимного положения элементов собираемого изделия следует совмещать сборочные базы с технологическими и измерительными базами. Базовая деталь изделия должна иметь технологическую базу, обеспечивающую достаточную устойчивость собираемого объекта. Крайне не желательным для автоматического сборочного процесса является смена технологических баз собираемого изделия, так как это требует не только кантование собираемого объекта, но и зачастую создания новых сборочных приспособлений и расчленения линии на участки со своими транспортными системами и приводными станциями. Это не только увеличивает стоимость сборочных работ, но и приводит к снижению точности сборки (характеризуется коэффициентом  $K_{y.б}$ ).

Для соблюдения принципа взаимозаменяемости целесообразно избегать многозвенных размерных цепей, которые сужают допуски на размеры составляющих звеньев. Если сократить число звеньев невозможно, то в конструкции изделия следует предусмотреть жесткий или регулируемый компенсатор. В этом случае необходимую точность исходного (замыкающего) звена легко обеспечить подбором или пригонкой жесткого компенсатора либо установкой на необходимый размер регулируемого компенсатора. При автоматическом выполнении сборки изделия и его составных частей необходимо, чтобы точность замыкающего звена сборочной размерной цепи обеспечивалась методом полной взаимозаменяемости. Выполнение пригоночных работ, как правило, недопустимо. Проведение регулировочных работ, разборок и повторных сборок требует ручных операций и снижает уровень автоматизации сборки.

Соединения, выполняемые методом групповой взаимозаменяемости (селективная сборка) автоматически осуществлять можно, но с увеличением капитальных затрат на 10...15%, так как требуется 100%-ный контроль сопрягаемых поверхностей собираемых деталей. Для этого сборочные линии необходимо оснастить контрольными автоматами, а позиции — дополнительными вибробункерами и подающими устройствами с системой адресования.

В случаях, когда по условиям сборки необходимо обеспечить определенное и единственно возможное положение собираемых элементов в изделии, предусматривают установочные метки, контрольные штифты, несимметричное размещение крепежных деталей. Для разборки изделия при его обслуживании и ремонте необходимо предусмотреть удобное применение съёмников, резьбовые отверстия для отжимных винтов, рымболты и выступы для захвата и подъёма тяжёлых деталей. При конструировании изделия необходимо обеспечить возможность удобного подвода высокопроизводительных механизированных и автоматизированных сборочных инструментов к месту сопряжения деталей.

При выполнении соединений с зазором и натягом, а также резьбовых соединений необходимо иметь заходные фаски на торцах сопрягаемых поверхностей, а также направляющие элементы (поояски и расточки) для улучшения условий собираемости. Наличие фасок и направляющих элементов на торцах сопрягаемых поверхностей деталей позволяет при помощи специальных сборочных исполнительных механизмов и приспособлений компенсировать имеющиеся на сборочной позиции погрешности. Погрешности взаимного положения сопрягаемых поверхностей могут быть линейные и угловые погрешности. Это существенно повышает уровень механизации и автоматизации сборочных процессов.

Для обеспечения сборки деталей по нескольким посадочным поверхностям последние следует делать ступенчатыми («в ёлочку») с разными длинами посадочных шеек. При этом безотказность автоматического сборочного процесса повышается на 15...30%.

Помимо перечисленных общих требований иногда приходится учитывать и частные условия сборки различных соединений.

Проведя анализ конструкции изделия, технолог может внести различные предложения по совершенствованию конструкции, упрощающие сборку, которые должны быть согласованы с конструктором.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1976. — 534 с.
2. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1977. — 416 с.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения. — Л.: Машиностроение, 1985. — 496 с.
4. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. Л.: Машиностроение, 1983. — 404 с.
5. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.
6. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник/Под ред. В.С.Корсакова. М.: Машиностроение, 1983. — 480 с.
7. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов/А.А. Гусев. М.: Машиностроение, 1986. — 480 с.
8. Ящерицын П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. Минск, изд-во "Вышэйшая школа", 1974. — 599 с.
9. Технология двигателестроения: Учебное пособие./ О.В. Крылов. Екатеринбург: УГТУ, 2000. ч. 2. 147 с.
10. Николаенко А.А., Морозов И.М. Проектирование технологических процессов сборки машин: Учебное пособие по курсу «Технология машиностроения». — Челябинск: ЧГТУ, 1995. — 70 с.
11. Т 38 Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. — 2-е изд., стереотип. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. — 564 с., ил.
12. Т 38 Технология машиностроения: В 2 т. Т. 2. Производство машин: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; Под ред. Г.Н. Мельникова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. — 640 с., ил.