



Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

М.И. ФИЛОНОВА, А.Л. САВЧЕНКО

# **СБОРКА, ИСПЫТАНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ПРИБОРОВ**

Конспект лекций  
для студентов заочной формы обучения специальности  
1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты»

*Электронное учебное издание*

УДК [531+53.082.5](075.8)

ББК

М

***Авторы:***

М.И. Филонова, А.Л. Савченко

***Рецензенты:***

*А.С. Козерук*, проф.кафедры «Лазерная техника и технология» БНТУ,  
д.т.н., проф.;

*З.П. Домбровская*, преподаватель Минского государственного машиностроительного колледжа.

Издание предназначено в качестве учебно-методического пособия по дисциплине «Автоматика» для студентов заочного отделения специальностей 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты», 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности», 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация», 1-38 02 01 «Информационно-измерительная техника».

Пособие содержит материалы, которые могут быть использованы при самостоятельном изучении некоторых разделов теоретического курса студентами как заочного, так и дневного отделения всех специальностей, изучающих дисциплину «Автоматика».

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.(017) 232-77-52 факс (017) 232-91-37

E-mail: ...

<http://www....>

Регистрационный № БНТУ/ПСФ80-18.2012

©БНТУ, 2012

© Филонова М.И., Савченко А.Л., 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
РАЗДЕЛ 1 СБОРКА ПРИБОРОВ .....	9
1.1 Технология разъемных и неразъемных соединений .....	9
Классификация механических соединений и области их применения .....	9
Разъемные соединения .....	10
Неразъемные соединения.....	12
Пайка механических соединений.....	15
Конструкционная сварка .....	16
1.2 Технология электрических соединений.....	19
Методы создания монтажных соединений .....	19
Физико-химическое содержание процесса пайки .....	23
Технологические основы индивидуальной пайки.....	25
Контроль качества паяных соединений.....	25
Монтажная микросварка .....	26
Накрутка и обжимка .....	27
1.3 Сборка электронных блоков .....	28
Входной контроль .....	30
Подготовка электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и интегральных микросхем (ИМС) к монтажу .....	31
Установка компонентов на платы .....	32
Технология поверхностного монтажа .....	32
Способы групповой пайки .....	33
Внутриблочный и межблочный монтаж.....	36
Методы регулировки .....	39
Технологическая тренировка и испытания .....	41
Классификация методов герметизации .....	41
1.4 Изготовление печатных плат .....	44
Классификация плат и методов их изготовления.....	45
РАЗДЕЛ 2 ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ .....	49
2.1 Классификация испытаний и способов их проведения .....	49
Классификация испытаний .....	49
Виды испытаний .....	50
Способы проведения испытаний.....	51
2.2 Механические испытания .....	52
Испытания на виброустойчивость и вибропрочность .....	52
Испытания на ударную прочность и устойчивость .....	53
Испытания на воздействие линейных нагрузок .....	54
Испытания на воздействие акустического шума.....	55
2.3 Климатические испытания .....	56
Температурные испытания .....	56
Испытания на влагоустойчивость .....	58
Испытания на воздействие солнечного излучения .....	59
Испытания на воздействие пыли.....	59

Испытания на воздействие соляного тумана .....	60
Испытания на воздействие атмосферного, статического, гидравлического давлений и на водонепроницаемость.....	60
2.4 Биологические и космические испытания.....	62
Испытания на биостойкость .....	62
Испытания на воздействие ультранизких давлений и криогенных температур .....	63
Испытания на воздействие ионизирующих излучений .....	64
2.5 Испытания на соответствие требованиям безопасности .....	64
РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРОВ.....	74
РАЗДЕЛ 4 РЕМОНТ ПРИБОРОВ .....	85
4.1 Ремонтопригодность приборов.....	85
Общие сведения о ремонтопригодности приборов.....	85
Факторы, определяющие ремонтопригодность приборов.....	86
Критерии ремонтопригодности .....	86
Меры обеспечения ремонтопригодности .....	88
Системы контроля и отыскания неисправностей .....	89
Общий порядок поиска неисправностей .....	89
Методы поиска отказавших элементов .....	91
Обеспечение приборов запасными частями.....	93
Ремонтосложность прибора .....	95
4.2 Дефектация и диагностирование .....	95
Методы дефектации.....	95
Измерения при дефектации.....	97
Дефектация деталей .....	98
Диагностирование приборов.....	99
4.3 Организация ремонта.....	101
Характер износа. Виды износа и защита от них.....	101
Основные виды работ по техническому обслуживанию и ремонту приборов.....	102
Методы планирования и организации ремонтов .....	103
Ремонтные чертежи .....	104
4.4 Технология ремонта.....	105
Схема технологического процесса ремонта.....	105
Инструмент и приспособления для проверки и ремонта.....	106
Общие сведения о разборке приборов.....	108
Общие сведения о технологии ремонта.....	109
Восстановление деталей посредством пластической деформации .....	110
Восстановление чистоты поверхности детали. Замена сборочных единиц и деталей при ремонте .....	112
Наращивание изношенных поверхностей и склеивание .....	114
Изменение конструкции деталей.....	122
Применение сварки при ремонте .....	124
Методы пригонки деталей .....	126
Упрочняющая обработка.....	127
Технологии ХАДО и РВС .....	132

Ремонт резьбовых и шпоночных соединений.....	136
Ремонт валов.....	137
Ремонт подшипников.....	138
Литература .....	143

## Введение

Дисциплина «Сборка, испытания, эксплуатация и ремонт приборов» относится к циклу специальных дисциплин и является завершающей в технологической подготовке инженера по приборостроению.

Целью данной дисциплины является изучение технологических процессов сборки, регулировки и ремонта типовых узлов измерительной техники, видов их испытаний и применяемого при этом оборудования.

Качество приборов в значительной степени определяется совершенством технологических процессов их изготовления, в том числе сборки, регулировки, испытаний, а также технического обслуживания и ремонта.

Сборка является заключительным этапом процесса создания готового изделия. В общем объеме затрат времени на изготовление сборка занимает около 35%, а стоимость сборочных работ достигает 50%. Поэтому инженер должен иметь представление о современных методах выполнения сборочных работ, о техническом оснащении сборочного производства.

Совершенствование методов и средств испытания и контроля – один из путей повышения качества продукции. Современный инженер должен владеть вопросами испытаний изделий, анализа их результатов.

Вопросы продления срока службы изделий также актуальны в современном мире. Повышение долговечности приборов позволит сэкономить значительные материальные средства. Основные пути для этого – правильная организация эксплуатации изделий и совершенствование методов и средств их ремонта.

В соответствии с ГОСТ 2.101-68 **изделие** – предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Установлены следующие виды изделий.

*Деталь* – изделие, изготовленное из материала одной марки без применения сборочных операций или с использованием местных соединительных операций.

*Сборочная единица* – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии изготовителе с помощью сборочных операций.

*Комплекс* – изделие, состоящее из нескольких специфицированных изделий взаимосвязанного назначения, не соединяемых на предприятии изготовителе посредством сборочных операций.

*Комплект* – несколько изделий общего функционального назначения вспомогательного характера, не соединяемых на предприятии изготовителе посредством сборочных операций.

Виды изделий и их взаимосвязь иллюстрируются схемой (рис. 1).

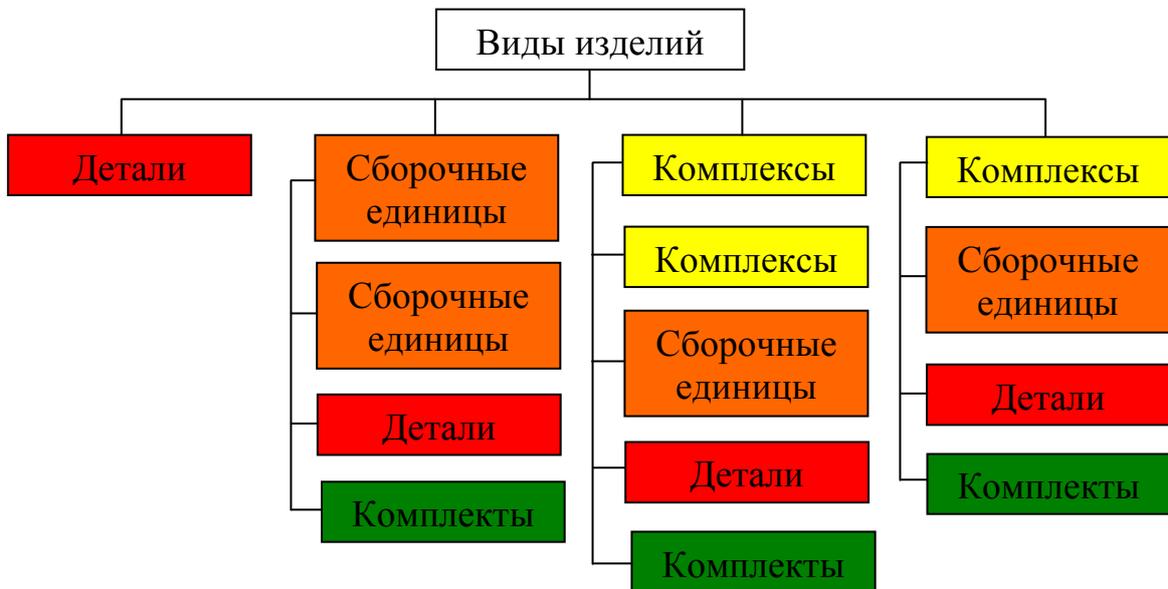


Рис. 1. Виды изделий

Каждое изделие за время своего существования проходит несколько этапов, совокупность которых называется **жизненным циклом** (рис. 2).

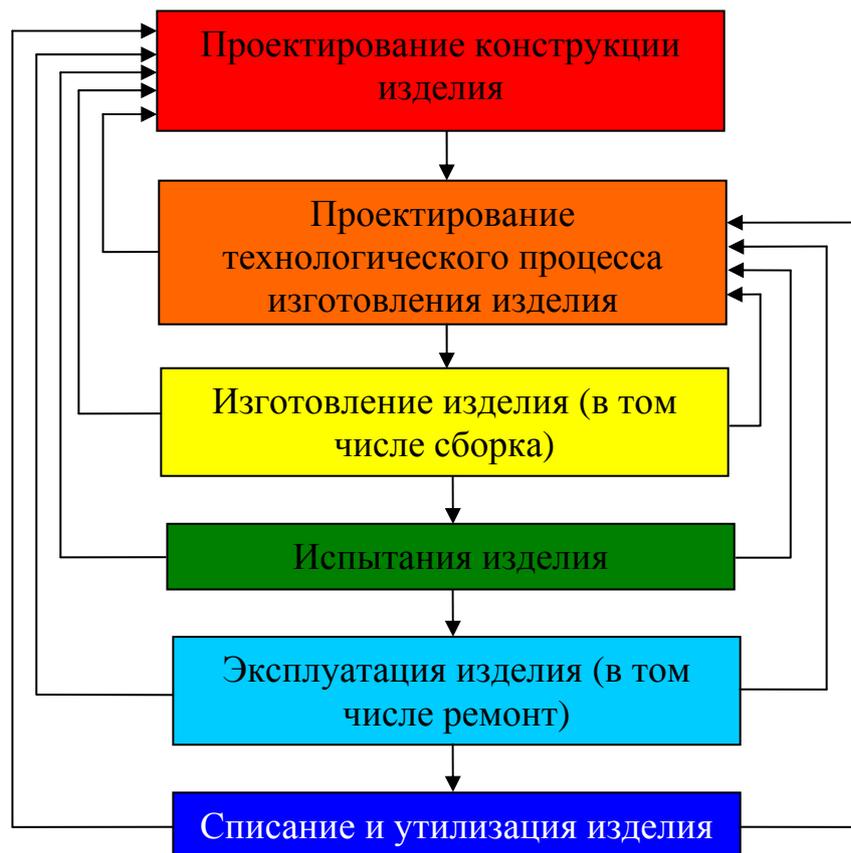


Рис. 2. Жизненный цикл изделия

Основные этапы жизненного цикла:  
*проектирование конструкции изделия* – изделие существует в виде чер-  
 тежей, макетов, моделей и т. д.;

*проектирование технологического процесса изготовления изделия* – к документации, разработанной на предыдущем этапе, добавляются технологические процессы, программы для оборудования с ЧПУ и т. д.;

*изготовление изделия* – на этом этапе изготавливают отдельные детали, узлы, изделие в целом, упаковку, разрабатывают эксплуатационную документацию;

*испытания изделия* – на этом этапе проверяют соответствие изделия проектной и нормативно-технической документации;

*эксплуатация изделия* – подразумевает использование изделия по назначению, техническое обслуживание и ремонт;

*списание и утилизация изделия* – по окончании срока службы выполняется оценка состояния изделия и делается заключение о физическом или моральном износе, после чего изделие изымается из обращения и утилизируется (извлекаются драгоценные металлы, металлы и сплавы сдаются в металлолом, радиоактивные и токсичные вещества утилизируются в соответствии с особыми правилами и т. д.).

Обратные связи на рис. 2 показывают, что в конструкцию и технологический процесс изготовления изделия на каждом этапе могут вноситься изменения.

# РАЗДЕЛ 1 СБОРКА ПРИБОРОВ

## 1.1. Технология разъемных и неразъемных соединений

### *Классификация механических соединений и области их применения*

При изготовлении приборов наряду с электрическими широко используются механические соединения, которые разделяются на две группы: разъемные и неразъемные. *Разъемные соединения* допускают полную разборку изделия на детали без разрушения их целостности, что позволяет быстро заменять детали и сборочные единицы в условиях эксплуатации. Резьбовые соединения в общем объеме занимают наибольший удельный вес (до 51%), но характеризуются высокой стоимостью и трудоемкостью. К ним относятся резьбовое, байонетное, штифтовое, шплинтовое и др. Соединение считается *неразъемным*, если его разборка сопровождается разрушением материалов или деталей, с помощью которых оно осуществлено. Неразъемные соединения выполняют пайкой, сваркой, расклепыванием, развальцовкой, запрессовкой, склеиванием и т. д. (рис. 3).



Рис. 3. Соотношение видов механических соединений

Расклепывание применяют для конструкций, работающих при высоких температурах и давлениях, для прочных соединений неметаллических деталей с металлами. Недостатками клепаного соединения являются: отсутствие герметичности шва, ослабление материала в месте соединения, концентрация и неравномерное распределение напряжений, возникновение в соединениях значительных деформаций, которые искажают взаимное положение деталей. Это вызывает необходимость в повышении требований к жесткости используемых приспособлений.

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

Склеивание применяют для соединения материалов в самых различных сочетаниях. Клеевые соединения обладают высокой долговечностью, коррозионной стойкостью, теплоизолирующими, звукопоглощающими, демпфи-

рующими свойствами, герметичностью. Склеивание отличается простотой, низкой себестоимостью сборки, легко может быть переведено на поточное производство. В настоящее время широко применяют комбинированные методы неразъемных соединений – клеесварные и клееклепанные. К недостаткам клеевых соединений следует отнести сравнительно низкую стойкость при повышенных температурах, пониженную прочность при неравномерном отрыве, дефицитность, а также токсичность многих составляющих клеевых композиций.

### *Разъемные соединения*

При механической сборке применяются следующие виды разъемных соединений: резьбовые (до 90 %), штифтовые, шплинтовые, байонетные. Резьбовые соединения выполняются с использованием винтов, болтов, резьбошпилек, самонарезающих шурупов и применяются для установки более тяжелых крупногабаритных деталей и сборочных единиц (трансформаторов, дросселей, переключателей, приборов). Основным видом резьбы является метрическая. Для предохранения поверхностей деталей от повреждений под гайки, головки болтов и винтов подкладывают шайбы.

При выполнении резьбового соединения момент затяжки определяется условиями работы резьбового соединения и тем, какой элемент (винт, гайка) ограничивает прочность соединения. При соединении металлических деталей винтом или болтом момент затяжки лимитируется их прочностью на растяжение. Если винт используется для стопора, то момент затяжки ограничивается прочностью его шлицев на смятие. При соединении неметаллических деталей момент затяжки лимитируется прочностью этих деталей.

Для механизированной сборки разъемных соединений при блочной и окончательной сборке в качестве оснастки применяют *ручные* электрифицированные и пневматические инструменты.

Резьбовые соединения предохраняют от самопроизвольного отвинчивания различными видами стопорения по ГОСТ 30133-95.

*Стопорение наглухо* обеспечивает высокую надежность, но неудобно для разборки. Осуществляется кернением самой резьбы или сквозной прошивкой винта либо болта с помощью конического или цилиндрического штифта (винта) (рис. 4).

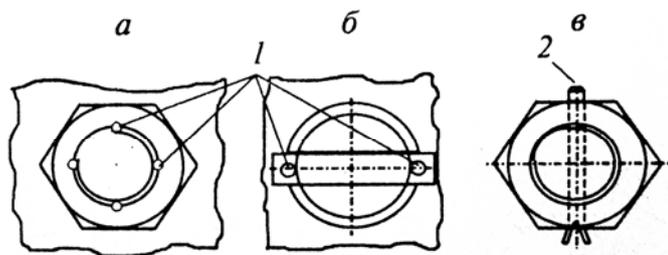


Рис. 4. Виды стопорения наглухо:  
а, б – кернением; в – штифтом; 1 – места кернения; 2 – штифт

*Стопорение с помощью фигурных шайб:* с носком, с лапкой для нерегулируемых и неремонтируемых соединений специальной аппаратуры, с наружными и внутренними ушками.

*Стопорение пружинными шайбами со смещенными краями (шайбы Гровера) с подкладыванием под шайбу Гровера дополнительной стальной шайбы для защиты от повреждения поверхности детали заостренными концами шайбы (рис. 5).*

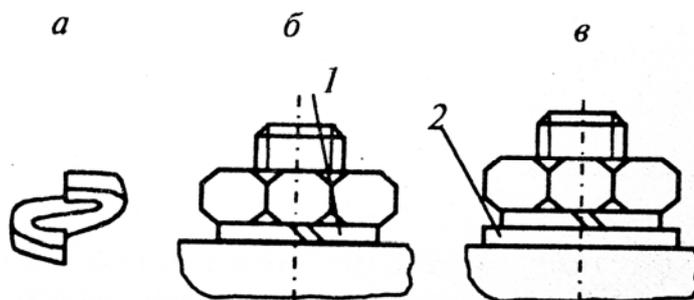


Рис. 5. Стопорение пружинными шайбами:  
 а – шайба; б – стопорение гайки; в – стопорение детали из мягкого материала; 1 – шайба Гровера; 2 – стальная шайба

*Стопорение путем повышения сил трения* в резьбе и на опорных торцах головок винтов, болтов или гаек. Оно достигается с помощью контргайки, которая увеличивает силы трения, либо применением специальной гайки со смещенными витками, которая имеет дополнительный поясок со смещенными двумя-тремя витками резьбы (рис. 6, а). Иногда в эту гайку закладывается упругий элемент – фибра (рис. 6, б). Для стопорения используют также разгибки в стороны свободных концов разрезанного винта (рис. 6, в).

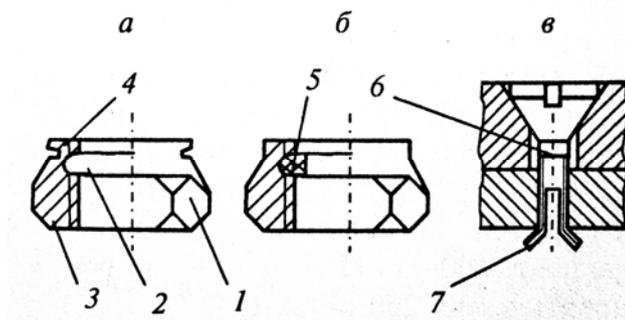


Рис. 6. Стопорение повышением сил трения:  
 1 – основная часть гайки; 2 – кольцевая проточка; 3 – поясок; 4 – часть гайки со смещенными винтами; 5 – фибра; 6 – винт; 7 – разведенные концы винта

*Стопорение краской или защитной массой* является самым простым и дешевым видом, совмещается с операцией контроля и применяется в бытовой ЭА. Состав заливочной массы: 75 % нитроэмали, 25 % молотого талька. После нанесения заливочной массы соединение подвергают сушке в течение 3...5 ч. Краска может наноситься с одной стороны резьбового соединения, по

периметру выхода резьбы и заливкой головки винта. Для тропического исполнения аппаратуры вместо краски используют анаэробные герметики типа «Унигерм 2Н», которые сушат в течение 6 ч при температуре 60 °С.

*Стопорение шплинтом* с корончатой (прорезной) гайкой или проволочной петлей, которые являются легко заменяемыми и сравнительно дешевыми элементами, обеспечивающими достаточную надежность.

*Штифтовые соединения* применяются для соединения деталей, испытывающих крутящие моменты. Используют штифты цилиндрической и конической формы из высококачественной легированной стали. Штифтовка является сложной и ответственной операцией, поскольку неправильная посадка штифта приводит к отказу аппаратуры. Штифтовые соединения как самостоятельные используются редко, обычно их применяют для стопорения резьбовых соединений.

*Шплинтовые соединения* используют в основном для крепления шайб и гаек на осях и болтах. Шплинт свободно вставляют в отверстие, проходящее через гайку и ось болта, а его выступающие концы разводят.

*Байонетное соединение* – основной вид присоединения коаксиальных разъемов, экранов пальчиковых радиоламп и других деталей. Оно удобно в разборке, но характеризуется наименьшей надежностью. При выполнении этого соединения выступы одной детали входят в прорези другой полой детали, а затяжку соединения производят, поворачивая одну деталь относительно другой.

### ***Неразъемные соединения***

*Заклепочное соединение* применяют для листовых металлических деталей, когда требуется обеспечить его высокую механическую прочность. Заклепки изготавливают из мягкой стали (Ст3, Ст5, Ст10) для соединения стальных деталей конструкции с высокой механической прочностью, а из латуни – для низкого электрического сопротивления и достаточной механической прочности. Эти металлы подвергаются коррозии, поэтому после выполнения соединения заклепки покрывают лаком или краской. Для деталей малой массы в ВЧ- и СВЧ-цепях применяют медные заклепки М1, М2, а для неотчетственных деталей с малой массой – из алюминия марок А1 и А2. Заклепки имеют полукруглую, потайную или полупотайную головку.

Замыкающую головку заклепки образуют ударами специальной обжимки по стержню заклепки, которая с противоположной стороны опирается на специальную поддержку – наковальню.

Наковальня должна иметь лунку по форме закладной головки, ее масса в 4...5 раз больше массы молотка.

Механизация клепки осуществляется высокопроизводительными вибрационными или соленоидными прессами, пневматическими приспособлениями с усилием 1...5 кН. Контроль качества соединения осуществляют наружным осмотром, при котором обращается внимание на правильность формы головки и точность прилегания к листам.

Для расклепывания в мелкосерийном производстве применяются накопальни или молотки (массой 200...500 г), в серийном – пневматическая расклепочная оснастка с усилием 1...5 кН, в случае повышенной прочности – кривошипно-шатунные либо вибропрессы с усилием несколько тонн.

Развальцовка применяется для соединения металлических и неметаллических деталей, например разъема с печатной платой. Она характеризуется меньшим усилием образования соединения за счет применения пустотелой заклепки, так называемого пистона, имеющего вид трубки, развальцованной с одной стороны. Пистоны изготавливают из алюминия, латуни, стали и красной меди.

Соединения пластической деформацией образуются путем деформации элементов крепления деталей либо зачеканки одной детали в другую (например, сборка роторной секции конденсатора переменной емкости). Этот процесс отличается высокой производительностью, не требует специальных деталей, однако не рекомендуется при значительных механических нагрузках.

*Запрессовка* обеспечивается необходимым натягом при условии, что диаметр охватывающей детали меньше диаметра охватываемой детали. Для мелких деталей усилие создают молотком, для больших – с помощью прессы. Усилие запрессовки зависит от разности диаметров, формы и чистоты поверхности соприкасающихся деталей. Иногда для обеспечения запрессовки одну из деталей нагревают.

*Опрессовка (армирование)* заключается в образовании соединения металлической и неметаллической деталей путем литья под давлением либо опрессовкой реактопластами ( $T = 160...220$  °С,  $P = 2...5$  МПа).

*Склеивание* – это технологический процесс соединения деталей с помощью специальных связующих материалов, которые вследствие взаимодействия с поверхностью деталей и изменения своего физического состояния способны формировать прочные соединения. Соединение склеиванием является результатом проявления сил адгезии, аутогезии и когезии. Адгезией называется явление сцепления двух разнородных материалов при их контакте, которое возникает в результате проявления сил молекулярного взаимодействия клея и соединяемой поверхности. Аутогезией называется явление сцепления поверхностей однородных *материалов* (самослипание). Когезия – явление сцепления молекул склеивающего материала в объеме тела. В пленке клея наблюдается образование прочных молекулярных цепей от границы раздела фаз в глубь полимера, что повышает прочность клеевого шва.

Общая схема развития сцепления при склеивании включает следующие процессы: адсорбция – адгезия – смачивание – поверхностные химические реакции.

Прочность клеевого соединения увеличивается, если склеиваемые материалы имеют разветвленные поры, что способствует диффузии молекул полимера в пограничный слой материала. Тонкие пленки клея (0,1...0,2 мм) дают более надежное соединение за счет прочных межмолекулярных сил, чем толстые слои.

Технологический процесс склеивания состоит из следующих операций:

- очистка поверхностей деталей от загрязнений;

- нанесение клея на склеиваемые поверхности;
- подсушивание нанесенного слоя клея;
- соединение склеиваемых деталей и полимеризация клея;
- контроль качества клеевых соединений.

Подготовку поверхностей деталей под склеивание проводят механической обработкой (гидропескоструйной очисткой, шлифованием, зачисткой наждачной бумагой). Обезжиривание осуществляют органическими растворителями (трихлорэтилен, этиловый спирт и др.).

Клей наносят на склеиваемые поверхности кистью, пульверизатором или путем окунания. Толщина клеевого шва должна находиться в пределах от 0,1 до 0,25 мм. Подсушивание нанесенного слоя клея перед соединением деталей необходимо для удаления растворителей. Если растворитель остается в клеевом слое во время сборки, это может привести к образованию непрочных соединений. Подсушка производится обычно на воздухе в течение 5...20 мин. После склеивания деталей осуществляется полимеризация клея при повышенных температуре и давлении. Так, для клеев типа БФ температура нагрева соединения составляет 60...120 °С, давление –  $(1,5...8) \cdot 10^5$  Па.

Контроль качества клеевых соединений осуществляют визуальным осмотром, с помощью дефектоскопов (ультразвуковой резонансный метод), выборочным испытанием изделия на разрушение. Для многослойной системы материалов наблюдаются четыре типа разрушения:

- адгезионный – полное отслаивание адгезива от субстрата (рис. 7, а)

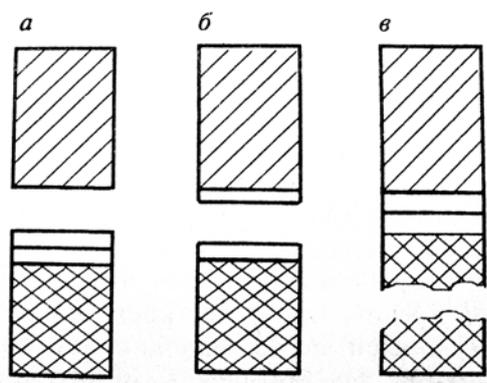


Рис. 7. Типы разрушений клеевых соединений

- аутогезионный – разрушение по месту слипания склеиваемых поверхностей (рис. 7, б);
- когезионный – разрушение одного из склеиваемых материалов или самой клеевой пленки (рис. 7, в);
- смешанный – характеризуется частичным расслаиванием по месту контакта либо частичным разрушением адгезива или субстрата.

Основные типы клеев и режимы склеивания даны в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики клеев

Тип клея	Состав	Режим склеивания	Область применения
БФ-4	Спиртовой раствор фенолформальдегидной смолы с добавками	120 °С, 1—2 ч, (1—5) · 10 <sup>5</sup> Па	Универсальный. Приклеивание фольги, ферритовых сердечников. Термостойкость до 250 °С. Устойчив при повышенных вибрациях
ВК-9	Эпоксидная смола, полиамидная смола, карбонильное железо, алюминиевая пудра, отвердитель	20—25 °С, 24 ч, 60°С, 1 ч, (0,1—2) · 10 <sup>5</sup> Па	Крепление ЭРЭ, магнитопроводов, микросхем к платам и металлам
ПМП	Полиметакрилат, дихлорэтан	20 °С, 24 ч, (0,5—2) · 10 <sup>5</sup> Па	Склеивание оргстекла и целлулоида
88 НП	Бутилфенолформальдегидная смола, бензин, добавки	25 °С, 24 ч, (0,2—2) · 10 <sup>5</sup> Па	Приклеивание прокладок из резины, кожи, ткани к металлам, стеклу, дереву
ЛН	Смесь 20 %-го раствора нирита в дихлорэтано и клея «Лейконат»	20 °С, 24 ч, (0,2—0,5) · 10 <sup>5</sup> Па	Склеивание полистирола и оргстекла с металлами, ферритов, магнитофонной ленты
ПФ-41	Полиорганосилоксан, органосиликаты со стеклянным наполнителем	250 °С, 3 ч, (0,7—1) · 10 <sup>5</sup> Па	Для вакуумно-плотных герметичных соединений с термостойкостью до 200 °С

### *Пайка механических соединений*

Конструкционная пайка выполняется низко-, средне- и высокотемпературными припоями. Низко- и среднетемпературная пайка применяется в производстве прецизионных паяных соединений, так как уменьшение нагрева существенно снижает деформацию деталей, а высокотемпературная – при изготовлении крупногабаритных конструкций, для которых требуется высокая механическая прочность и термостойкость.

Выбор припоя и флюса определяется требованиями, предъявляемыми к аппаратуре. Основные типы высокотемпературных припоев и флюсов, а также области их применения приведены в справочной литературе и отраслевых стандартах.

Высокотемпературную пайку механических соединений выполняют в поле токов высокой частоты, в печи или в ванне с расплавленной солью.

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

Технологической оснасткой для пайки токами ВЧ является индуктор, представляющий собой катушку, изготовленную из высокопроводящего трубчатого материала, через которую интенсивно прокачивается охлаждающая жидкость.

Индукционная пайка применяется для соединения СВЧ-элементов (волноводных звеньев, магнетронов, ламп бегущей и отраженной волн), герметизации микросборок в металлических корпусах. Она позволяет проводить

процессы с высокой скоростью, одновременно паять несколько швов сложной пространственной конфигурации. Предварительный подогрев деталей обеспечивает повышение скорости процесса из-за быстрого выравнивания температуры по всему соединению и улучшение его качества за счет устранения теплового удара. Качество соединений повышается при проведении процесса в вакууме или среде очищенных газов (водород, азот либо их смесь). Процесс легко автоматизируется в конвейерных линиях сборки. Дозированное нанесение припоя на собранные в держателе или кассете детали осуществляется программируемым манипулятором. Его существенным недостатком является необходимость изготовления специальной оснастки для каждой сборки.

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

Пайка в ваннах с расплавленной солью применяется для сборки крупногабаритных изделий. Состав расплава подбирается таким образом, чтобы он обеспечивал требуемую температуру и оказывал флюсующее действие на соединяемые поверхности. Это в основном хлористые соединения калия, лития, натрия, бария, кальция. Собранные под пайку узлы предварительно нагревают в печи до температуры, на 80...100 °С ниже температуры плавления припоя. Такая подготовка снижает коробление деталей и не нарушает температурный режим ванны. После выдержки в расплаве в течение 0,5-3 мин детали вместе с приспособлением извлекают из ванны и после охлаждения тщательно промывают для удаления остатков флюса.

### ***Конструкционная сварка***

Конструкционной сваркой соединяют алтейные мачты, зеркала радиотелескопов, каркасы, стойки, шасси, волноводы, кожухи аппаратуры, изготовленные из стали, алюминиевых, титановых и медных сплавов. Сварные конструкции, обладая всеми необходимыми эксплуатационными качествами должны быть изготовлены с минимальной трудоемкостью, экономичным расходом материалов и высокой стабильностью качества.

Надежность сварной конструкции во многом зависит от свариваемости материала. Понятие свариваемости – комплексное, оно зависит от пригодности материала к сварке, технологических условий сварки и в свою очередь определяет надежность сварной конструкции (рис. 8).

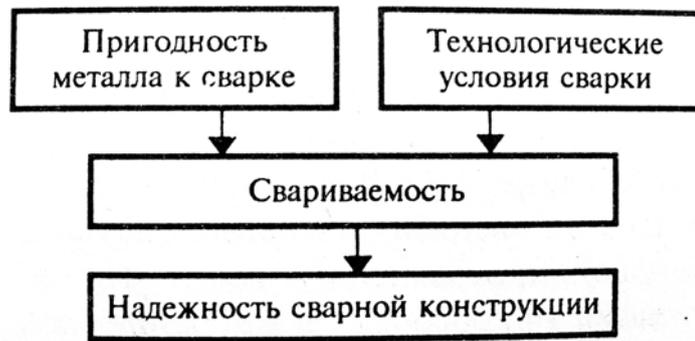


Рис. 8. Взаимосвязь факторов сварки

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

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

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

где  $C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, V$  – химические элементы.

В зависимости от эквивалентного содержания углерода различают группы сталей по свариваемости (табл. 2).

Табл. 2. Свариваемость сталей

Характеристика свариваемости	Марка стали	$C_{\text{экв}}$ , %	Содержание легирующих примесей, %
Хорошая свариваемость (для ответственных сборок отпуск при 600—650 °С)	Стали низкоуглеродистые: 05, 08, 10, 15; стали среднелегированные: 15Х, 20Х	До 0,25	До 1,0
Свариваемость с предварительным нагревом до 200—300 °С, отпуск после сварки	Стали углеродистые: 25, 30, 35, 40; стали низколегированные и низкоуглеродистые: 14Г, 14ГС; стали низколегированные и среднеуглеродистые: 25Г2С, 35ХМ	0,25—0,45	До 1,5
Свариваемость после предварительной термообработки (закалка при 900 °С и отпуск при 500—600 °С) с предварительным нагревом до 300—350 °С и последующим отпуском при 600—650 °С	Стали среднеуглеродистые: 35Г, 40, 45; стали низколегированные и низкоуглеродистые: 18ГС2, 14ХГС, ЮХСНД	0,35—0,50	До 5,0
Свариваемость после предварительной термообработки (закалка при 900 °С и отпуск при 500—600 °С) с предварительным нагревом до 350—500 °С и последующим отпуском при 600—650 °С	Стали высокоуглеродистые: 50, 55, 60, 70, 80; стали низколегированные и среднеуглеродистые: 35ХМ; стали среднелегированные: 30ХГСА, 12Х5МА	Свыше 0,5	До 10

Свариваемость алюминия и его сплавов определяется их высокими теплопроводностью, термическим расширением, сродством к кислороду, тугоплавкостью оксидной пленки и фазовыми превращениями при сварке, приводящими к охрупчиванию при 350...400 °С. Травление деталей перед сваркой и защита жидкой ванны от контакта с атмосферой обеспечивают отсутствие пор при сварке чистого алюминия и литейных сплавов. Массивные детали перед сваркой подогревают до 200...400 °С. Сварные соединения из люралюминов (термически упрочняемых сплавов) склонны к образованию трещин, поэтому их подвергают естественному (5...10 сут) или искусственному (200 °С, 2...10 ч) старению.

Свариваемость меди определяется ее повышенной жидкотекучестью, теплопроводностью и химической активностью, наличием примесей свинца, кислорода, серы, висмута, которые не растворяются в ней. Нагревание меди до температуры выше 400 °С приводит к интенсивному окислению металла и его примесей, расплавленный металл хорошо растворяет газы, особенно водород с образованием паров воды. Пары воды при нагревании создают большое давление, под действием которого образуется сеть микротрещин и пор (водородная болезнь). Поэтому для изготовления сварных конструкций применяют специальную раскисленную медь, в которой нет кислородных включений. Медь и ее сплавы соединяют газовой, дуговой или контактной сваркой.

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

Основные методы получения металлоконструкций, каркасов, рам, стоек, оснований – контактная, электродуговая, холодная, диффузионная и газовая сварка. Вне зависимости от метода для уменьшения деформации изделий детали закрепляют в приспособлении и стремятся обеспечить минимальный объем металла в сварочном шве, использовать прерывистый точечный шов, выдержать сборочные зазоры.

Аргонно-дуговая сварка обеспечивает высокое качество соединений деталей из нержавеющей сталей, алюминиевых и титановых сплавов. Основными параметрами ТП являются: сила тока, напряжение на электродах, вид и полярность тока, диаметр электродов. Увеличение силы сварочного тока приводит к увеличению глубины провара и применяется при повышенных толщинах деталей. Напряжение линейно связано с шириной шва и не сказывается на глубине провара. При сварке постоянным током обратной полярности («—» на изделии) глубина провара на 40...50 % выше, чем при сварке током прямой полярности, и на 15...20 % выше, чем при сварке переменным

током. Использование аргона при дуговой сварке обеспечивает чистоту химического состава литого металла и создает благоприятные условия для формирования структуры шва.

*Холодная сварка* (рис. 9) осуществляется за счет пластической деформации соединяемых деталей, под действием больших механических усилий.

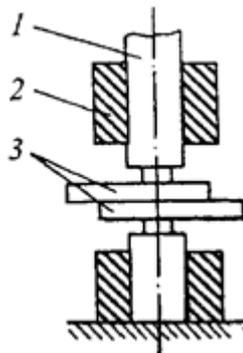


Рис. 9. Схема холодной сварки:

1 – пуансон; 2 – прижим; 3 – свариваемые детали

Метод применяется для соединения внахлестку тонких (до 1 мм) деталей.

*Диффузионная* сварка основана на соединении деталей в результате ползучести под действием приложенного давления в контролируемой атмосфере.

Диффузионная сварка позволяет сваривать разнородные материалы, обеспечивает высокую точность, придаваемые усилия колеблются в пределах 5...20 МПа. Недостатками метода являются высокая энергоемкость и низкая производительность (соединение длится 5...20 мин).

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

## 1.2. Технология электрических соединений

### *Методы создания монтажных соединений*

В производстве современной электронной аппаратуры (ЭА) операции сборки и монтажа занимают значительный объем. Их трудоемкость составляет на данный период 50...70 % общей трудоемкости изготовления изделий. Микроминиатюризация компонентов и функционально сложных электронных устройств в значительной степени повышает плотность упаковки элементов в единице объема. Так, создание сверхбольших интегральных схем (СБИС) позволило достичь плотности упаковки  $10^6...10^7$  1/см<sup>3</sup>, что является физическим пределом в настоящее время. Но методы монтажа ЭА не обеспечивают достижения такой высокой плотности упаковки во всем объеме изделия. Если в блоках на печатных платах аппаратуры второго поколения плот-

ность монтажа составляет 10...15 соединений на 1 см<sup>2</sup>, то в аппаратуре третьего поколения 40...50. В современных многослойных коммутационных платах на керамической подложке минимальная ширина линий и зазоров между ними уменьшена до 0,2...0,4 мкм, а минимальный диаметр переходных отверстий – до 0,1 мкм, что позволило достичь плотности монтажных соединений 100...150 на 1 см<sup>2</sup>, а в многокристальных модулях на подложке из полиимида – до 200 на 1 см<sup>2</sup>.

Прогрессирующая микроминиатюризация компонентов, применение поверхностного монтажа вызывают необходимость разработки перспективной технологии монтажных соединений для создания ЭА с высокой надежностью внутриблочных и межблочных соединений. Традиционные процессы монтажа не обеспечивают необходимой производительности и высокого процента выхода годных изделий. Низкий уровень автоматизации процессов, применение ручного труда на отдельных операциях не способствуют высокому качеству соединений. Статистические данные показывают, что 50...80 % всех отказов в аппаратуре происходит вследствие дефектов монтажных соединений, причем обнаружение и исправление отказа на этапе сборки блока обходится в 1000 раз дешевле, чем при испытаниях аппаратуры.

Для разработки новых, более эффективных процессов монтажа ЭА необходимы: углубленное изучение физико-химических основ формирования соединений, рациональный выбор методов активации, применение новых материалов и автоматизированного оборудования со встроенными системами контроля.

Основные требования, предъявляемые к электрическим соединениям при монтаже ЭА:

- минимальное электрическое переходное сопротивление в зоне контакта;
- механическая прочность, близкая к прочности соединяемых материалов;
- стабильность электрических и механических параметров во времени при внешних воздействиях;
- высокая надежность и долговечность в заданных условиях эксплуатации;
- экономичность и производительность процесса создания;
- легкость и достоверность контроля качества.

Низкое электрическое переходное сопротивление и высокая механическая стабильность соединений достигаются за счет сил атомной связи, при которой атомы контактирующих металлов, оставаясь в узлах кристаллической решетки, отдают со своих внешних оболочек электроны, коллективизируемые в виде электронного газа. Для возникновения металлической связи необходимо атомы металлов сблизить до расстояния 1—10 нм и ввести энергию в зону соединения.

Энергия может быть введена посредством нагрева, давления или трения. При нагреве с ростом температуры увеличивается подвижность атомов, а с появлением жидкой фазы значительно возрастает скорость диффузии.

Давление необходимо для сближения взаимодействующих металлических поверхностей на расстояния, при которых действуют силы Ван-дер-Ваальса. При степени деформации больше 50 % благодаря диффузии возникает металлическая связь. При перемещении механических поверхностей относительно друг друга в процессе трения в месте соприкосновения макроступов поверхности создаются высокие удельные давления, которые приводят к пластическому течению или расплавлению металла.

Серьезным препятствием для контактирования являются жировые пленки и химические оксиды на поверхности соединяемых металлов. Удаление этих пленок химическими (флюсованием, обезжириванием) или физическими (ультразвуком, плазменной очисткой) методами является неотъемлемой частью процесса образования соединения.

Методы создания электрических соединений основаны на непосредственном контактировании соединяемых материалов и использовании промежуточных материалов в зоне соединения (рис. 10).

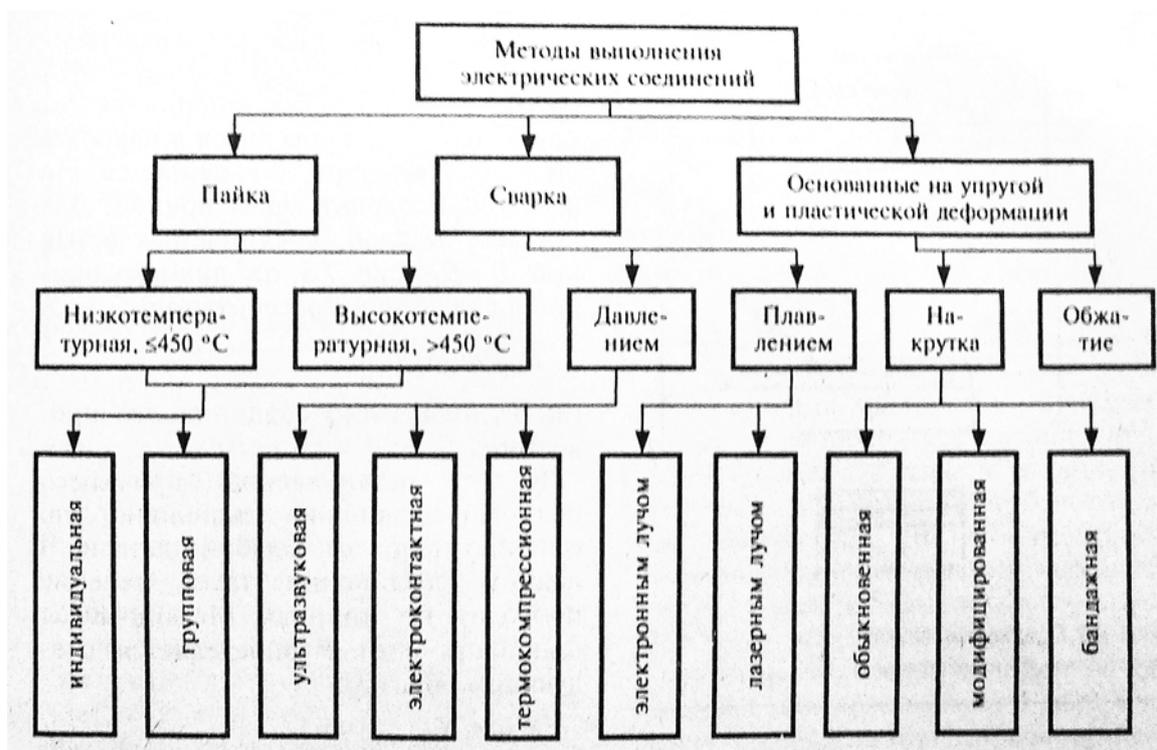


Рис. 10. Классификация методов выполнения электрических соединений.

Непосредственное контактирование соединяемых материалов осуществляют под воздействием давления (холодная сварка, накрутка, обжимка), теплоты и давления (различные методы сварки), давления и физического воздействия (УЗ-сварка). Соединения с промежуточными материалами в виде присадок припоя (пайка) или токопроводящего клея (склеивание) выполняют под действием давления и теплоты.

Наиболее важным показателем электрических соединений является переходное электрическое (контактное) сопротивление.

Сравнительная характеристика параметров электрических соединений, выполненных различными методами, приведена в табл. 3.

Табл. 3. Параметры электрических соединений

Вид соединения	Переходное сопротивление $R_{пер}$ , мОм	Прочность $P$ , МПа	Интенсивность отказов $1 \cdot 10^{-9}$ , ч <sup>-1</sup>	Тепловое сопротивление $R_{т}$ , °С/Вт
Сварка	0,01—1	100—500	0,1—3,0	0,001
Накрутка	1—2	60—80	0,2—0,5	0,0005
Пайка	2—5	40—50	1—10	0,002
Обжимка	1—10	20—50	2—5	0,001
Токопроводящим клеем	(1—10) Ом · м	5—10	50	5,0

Паяные электрические соединения нашли самое широкое применение при монтаже ЭА благодаря следующим достоинствам: низкому и стабильному электрическому сопротивлению, широкой номенклатуре соединяемых металлов, легкости автоматизации, контроля и ремонта. Недостатки паяных соединений связаны с высокой стоимостью используемых цветных металлов, необходимостью удаления остатков флюса, низкой термостойкостью.

Сварные электрические соединения по сравнению с паяными имеют следующие преимущества: более высокая механическая прочность, отсутствие присадочного материала, меньшая площадь контакта. К недостаткам следует отнести: критичность при выборе сочетаний материалов, увеличение переходного сопротивления из-за образования интерметаллидов, сложность группового контактирования и ремонта.

Электрические соединения, основанные на пластической деформации элементов в холодном состоянии (накрутка и обжимка), характеризуются высокой механической прочностью, низким переходным электрическим сопротивлением, легкостью механизации, экономичностью и надежностью при эксплуатации. К недостаткам относятся: необходимость специальных контактирующих элементов, увеличенная площадь контакта.

*Накрутка* – это соединение оголенного провода со штыревым выводом, имеющим острые кромки, путем навивки провода на вывод с определенным усилием. При этом кромки штыря, частично деформируясь, врезаются в провод, разрушая на нем оксидную пленку и образуя газонепроницаемое соединение. Концентрация напряжений в зоне контакта и значительное давление (до 15...20 МПа) обуславливают взаимную диффузию металлов, что способствует повышению надежности соединений.

*Обжимка* представляет собой способ образования контактного соединения под действием сильной пластической деформации соединяемых элементов, вследствие холодной текучести контактирующих поверхностей между соединяемыми материалами образуется газо- и вибростойкое соединение.

Токопроводящие клеи в отличие от припоев отверждаются при более низких температурах, что не вызывает изменения структуры соединяемых материалов. Токопроводящие клеи – контактолы – относятся к гетерогенным структурам, в которых связующим являются различные смолы, а наполнителем – порошки серебра, золота, палладия, никеля, меди, графита. Основную

массу таких клеев приготавливают на основе эпоксидных, уретановых, силиконовых композиций.

Контактолы применяются при монтаже ЭА в тех случаях, когда пайка невозможна, так как нагрев ведет к повреждению термочувствительных компонентов, а также в труднодоступных местах сборочных единиц и блоков (например, для присоединения кристаллов и подложек ИМС к корпусам, при ремонте печатных плат, при заземлении компонентов, в СВЧ-устройствах). Контактолы имеют низкое удельное объемное электрическое сопротивление и стабильные электрические свойства при эксплуатации в жестких климатических условиях. Клеи типа К-8, К-12 применяются для соединения палладиевых, серебряных и медных поверхностей; К-16, К-17 – покрытых припоем ПОС61 и ПСрОСЗ-58; ТПК-3 - диэлектрических и металлических поверхностей. Недостатками данного вида соединений являются высокое электрическое сопротивление контакта, низкие термостойкость и надежность. Для посадки кристаллов ИМС на основания используют токопроводящие пасты. При автоматизированной сборке кристаллов больших размеров токопроводящие пасты обеспечивают высокую производительность, низкую стоимость, невысокую температуру процесса. Токопроводящая композиция на основе клея ВК-32-200 содержит 30...35 % никелевого порошка с размером частиц менее 10 мкм и 0,3...0,45 % порошка монокристаллического кремния с размером частиц 0,5...2 мкм. Удельное объемное сопротивление композиции составляет  $(1,5...2) \cdot 10^4 \text{ Ом см}$ , предел прочности соединений на разрыв 10...15 МПа. Недостатком данной композиции является изменение ее прочностных свойств при последующих операциях (термокомпрессионная разварка выводов), а также сложность поддержания однородного состава в процессе приклеивания. Лучшие характеристики имеют токопроводящие композиции с металлическим наполнителем – порошком серебра. Так, композиция Ablebond 84 фирмы Ablestik имеет удельное сопротивление  $10^4 \text{ Ом-см}$ , предел прочности соединений на разрыв – до 26 МПа.

### ***Физико-химическое содержание процесса пайки***

Пайкой называется процесс соединения материалов в твердом состоянии путем введения в зазор легкоплавкого металла – припоя, взаимодействующего с основными материалами и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва. Из определения следует, что:

- пайка происходит при температурах, существенно меньших температур плавления соединяемых материалов, что уменьшает их перегрев;
- возможно соединение как металлических, так и неметаллических материалов;
- в зоне контакта должен образовываться промежуточный слой, состоящий из припоя и продуктов его взаимодействия с паяемыми материалами.

Для образования качественного паяного соединения необходимо: подготовить поверхности соединяемых деталей; активировать материалы и припой; удалить оксидные пленки в зоне контакта; обеспечить взаимодействие

на межфазной границе раздела; создать условия для кристаллизации жидкой металлической прослойки.

Подготовка поверхностей деталей к пайке включает механическую, химическую или электрохимическую очистки от оксидов, загрязнений органического и минерального происхождения, а также нанесение покрытий, улучшающих условия пайки или повышающих прочность и коррозионную стойкость паяных соединений.

Удаление продуктов коррозии и оксидных пленок механическим способом проводят с помощью режущего инструмента (напильника, шлифовального круга, шабера), а также наждачной бумаги, проволочной сетки. Для повышения производительности при обработке протяженных или сложнопрофилированных изделий применяют гидроабразивную очистку с помощью струи жидкости или вращающихся щеток из синтетического материала с добавлением в моющий состав абразивных частиц. Образование шероховатой поверхности после механической обработки способствует увеличению растекания припоя, так как риски на поверхности являются мельчайшими капиллярами.

Удаление поверхностных пленок, препятствующих смачиванию расплавленным припоем, осуществляется как химическими, так и электрохимическими способами. Химическое обезжиривание деталей проводят в 5 %-м растворе щелочи или в органических растворителях (ацетон, бензин, спирт, четыреххлористый углерод), спиртобензиновых и спиртофреоновых смесях путем протирки, погружения, распыления, обработки в паровой фазе или ультразвуковой ванне.

Активация паяемых поверхностей необходима для физико-химического взаимодействия атомов основного металла и припоя. При этом с поверхности взаимодействующих металлов должны быть удалены оксидные пленки, а атомы должны достичь требуемого уровня энергии активации.

Для газопламенной пайки, сварки, резки мелких деталей с высокой температурой плавления применяют аппараты с водородной микрогорелкой, в основу работы которых положен принцип электролиза воды электрическим током.

Более перспективны бесконтактные способы нагрева паяемых деталей различными видами излучений. При пайке излучением высокой частоты (ВЧ) в деталях индуцируются токи, которые проходят главным образом в поверхностном слое определенной толщины и разогревают детали до необходимой температуры.

В процессах пайки широкое применение получили два вида ИК-нагрева: локальный сфокусированный и прецизионный рассеянный. К достоинствам пайки ИК-излучением следует отнести: бесконтактный подвод энергии к паяемым деталям, тонкую регулировку времени и температуры нагрева, локальность нагрева в зоне пайки. Недостатки процесса — затруднение при флюсовой пайке (испаряющийся флюс загрязняет лампы и рефлекторы), отсутствие серийно выпускаемого оборудования.

Оптическое излучение в диапазоне длин волн 0,7...10,6 мкм, генерируемое различными типами лазеров, является удобным, надежным и экономич-

ным видом бесконтактного нагрева. В технологии пайки используют лазерные установки, основным элементом которых является оптический квантовый генератор (ОКГ), создающий мощный импульс монохроматического когерентного излучения. Пайка лазерным излучением не требует вакуума и позволяет соединять изделия из разнотолщинных элементов. В процессах пайки используют как непрерывное, так и импульсное лазерное излучение.

### ***Технологические основы индивидуальной пайки***

Индивидуальная пайка применяется при монтаже блоков в условиях мелкосерийного производства, а также во всех случаях ремонтных работ. ТП индивидуальной пайки состоит из следующих операций: фиксации соединяемых элементов, нанесения дозированного количества флюса и припоя, нагрева места пайки до заданной температуры и выдержки в течение фиксированного времени, охлаждения соединения без перемещения паяемых деталей, очистки и контроля качества соединения.

Для обеспечения надежности паяных соединений предусматривают:

- механическое закрепление элементов и монтажных проводников на контактных лепестках и гнездах при объемном монтаже;
- выбор оптимальных зазоров в конструкции паяных соединений между поверхностями монтажных элементов.

### ***Контроль качества паяных соединений***

Процессы контроля при монтаже ЭА включают: проверку соединяемых материалов на паяемость, контроль технологических режимов пайки, оценку качества соединений.

Паяемость характеризует способность паяемого материала вступать в физико-химическое взаимодействие с расплавленным припоем и образовывать надежное паяное соединение. Паяемость зависит от физико-химической природы металлов, способа и режимов флюсующих сред, условий подготовки паяемых поверхностей.

По критерию паяемости все многообразие современных паяемых материалов различной физико-химической природы можно классифицировать на следующие основные группы: легкопаяемые, среднепаяемые, труднопаяемые и непаяемые.

Контроль качества предусматривает следующие виды оценки паяных соединений:

- по внешнему виду с использованием эталона паяного соединения при 100 %-м контроле;
- прочности соединений на отрыв при выборочном контроле на образцах-свидетелях;
- переходного сопротивления контакта выборочно для различных проводников;
- надежности соединения путем определения интенсивности отказов в течение заданного срока испытаний.

Дефекты в паяных соединениях (поры, раковины, трещины) могут быть обнаружены с помощью телевизионно-рентгеновского микроскопа МТР-3 либо ультразвуковым дефектоскопом. Ультразвуковой контроль основан на изменении структуры акустического поля частотой 0,5...25 МГц при наличии в паяном соединении дефектов, отражающих УЗ-колебания. Универсальные УЗ-дефектоскопы типа УДМ-1М позволяют обнаруживать и определять раковины, трещины, поры, расслоение и другие дефекты в паяных соединениях.

Определенная часть дефектов, иногда до 60 % общего числа, может быть выявлена методом модуляции электрического сигнала. Он основан на свойстве дефектов паяных соединений служить модуляторами сигнала. Контрольная аппаратура включает генератор с регулируемым переменным напряжением частотой 10...100 Гц, блок индикатора, состоящий из двухкаскадного предварительного усилителя, детектора, указателя уровня, фильтра-пробки, настроенного на фиксированную частоту (например, 3,2 кГц)» двухкаскадного усилителя, осциллографа или громкоговорителя.

После настройки генератора на частоту фильтра-пробки контролируемую схему подвергают вибрациям, при этом любое изменение омического сопротивления соединения вызывает появление электрического сигнала другой частоты, отличной от частоты генератора.

Одним из перспективных методов объективного контроля паяных соединений является оценка распределения температурных полей в электронном модуле. При его использовании контролируемую плату подключают к источнику питания и генератору импульсов фиксированной частоты. После установления теплового равновесия плату со стороны паек сканируют инфракрасным датчиком, соединенным с тепловизором, который позволяет воспроизводить распределение температур по поверхности исследуемого изделия. Прибор обнаруживает зоны локальных перегревов, соответствующие дефектным паяным соединениям, которые имеют температуру на 1...5 °С выше номинальной. В качестве датчика используют фотоболометры и другие ИК-детекторы. Тепловизор ТВ-03 (СССР) имеет температурное разрешение 0,2 °С в диапазоне измеряемых температур 25...300 °С.

Повышение качества контроля паяных соединений достигается путем применения лазерной системы контроля дефектов

Если в дополнение к лазерной установке предусмотреть ультразвуковой контроль, то можно определять и те дефекты, которые не могут быть обнаружены с помощью лазера. Автоматизированный контроль паяных соединений с комбинированной лазерно-ультразвуковой системой позволяет увеличить производительность контроля паяных соединений печатных плат.

### *Монтажная микросварка*

Монтажная микросварка применяется при монтаже кристаллов ИМС с помощью золотых и алюминиевых выводов. Процесс УЗ-микросварки основывается на введении механических колебаний УЗ-частоты в зону соединения, что приводит к пластической деформации приконтактной зоны, разру-

шению и удалению поверхностных пленок с созданием атомно-чистых (ювенильных) поверхностей, что интенсифицирует процесс образования активных центров и тем самым приводит к образованию прочного сварного соединения без большой пластической деформации свариваемых деталей.

Наиболее часто применяются продольные колебания частотой 66 кГц, вводимые в зону сварки с помощью волноводной системы (рис. 11), состоящей из преобразователя, акустического трансформатора 2, концентратора 3. Колебания от рабочего инструмента 4 сообщаются проволочному выводу 5, совмещенному с контактной площадкой 6, расположенной на акустической опоре 7. Волноводная система крепится в узле колебаний держателем 8.

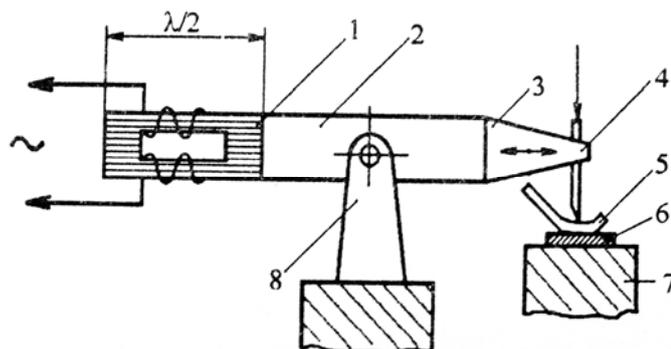


Рис. 11. Схема УЗ-сварки

Термокомпрессионной сваркой (ТКС) называют микросварку давлением в твердой фазе элементов, нагреваемых от постороннего источника теплоты, с локальной пластической деформацией в зоне сварки. Различают термокомпрессионную микросварку с общим, импульсным, косвенным и комбинированным нагревом.

Сварка расщепленным (сдвоенным) электродом применяется в технологии электрического монтажа, в частности при получении контактных соединений планарных выводов ИМС и ЭРЭ с контактными площадками плат, плоских ленточных проводов с выводами печатных разъемов и др. Метод пригоден для сварки таких материалов, как медь, серебро, золото, алюминий, никель толщиной 0,03...0,5 мм.

### ***Накрутка и обжимка***

Монтаж накруткой, предназначенный для получения электрических соединений одножильных проводов со штыревыми выводами разъемов, был разработан в США в 1952 г. фирмой Bell Lab's и широко применяется для электрического монтажа блоков, панелей и рам ЭВМ. Монтаж накруткой исключает применение припоев и флюсов, ускоряет процесс межблочного монтажа, повышает надежность соединений по сравнению с паяными, создает возможность автоматизации межблочного монтажа.

Контактное соединение накруткой – соединение неизолированного одножильного провода со штыревым выводом, имеющим острые кромки, при котором провод навивается на вывод с определенным усилием (рис. 12).

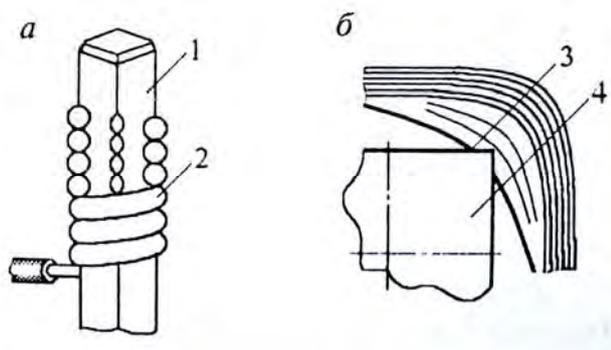


Рис. 12. Соединение накруткой:  
 а – внешний вид; б – сечение; 1 – штырь; 2 – одножильный провод; 3 – область газонепроницаемого соединения; 4 – кромка штыря

При этом кромки штыря, частично деформируясь, врезаются в провод, разрушая на нем оксидную пленку, и образуют газонепроницаемое соединение. Концентрация напряжений в зонах контакта и среднее давление порядка 170 МПа обуславливают взаимную диффузию металлов, что способствует повышению надежности соединений. Срок службы соединений при нормальных климатических условиях 15...20 лет.

При монтаже накруткой применяют три вида соединений: обычное, модифицированное и бандажное (рис. 13).

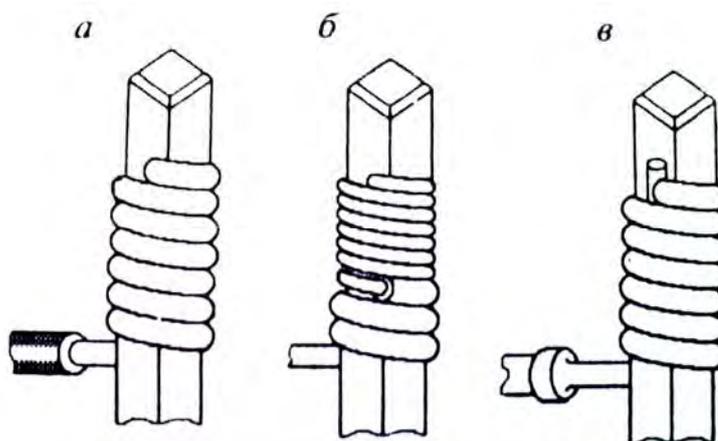


Рис. 13. Виды соединений накруткой:  
 а – обычное; б – модифицированное; в – бандажное

### 1.3. Сборка электронных блоков

Операции сборки и монтажа являются наиболее важными в технологическом процессе изготовления электронных блоков, поскольку они оказывают определяющее влияние на технические характеристики изделий и отличаются высокой трудоемкостью (до 50...60 % общей трудоемкости изготовления). При этом доля подготовки изделий к монтажу составляет около 10%, установки – более 20%, пайки – 30 %. Автоматизация и механизация этих групп операций дает наибольший эффект в снижении трудоемкости изготов-

ления изделий. Основными путями повышения эффективности являются: применение автоматизированного оборудования, групповая обработка изделий, внедрение новой элементной базы, например поверхностно-монтируемых элементов.

Технологический процесс автоматизированной сборки состоит из подачи компонентов и деталей к месту установки, ориентации выводов относительно монтажных отверстий или контактных площадок, фиксации элементов на плате. В зависимости от характера производства сборка может выполняться: вручную с индексацией и без индексации адреса; механизированно на пантографе; автоматизированно параллельно на автоукладчиках и последовательно на автоматах или автоматических линиях с управлением от ЭВМ.

Подача элементов к месту установки при автоматизированной сборке происходит путем загрузки кассет с изделиями и платами в магазины и накопители автомата, захвата изделий установочной головкой и позиционирования. Как правило, загрузка кассет осуществляется вручную, и только в ГАП эта операция выполняется с помощью автоматических транспортных средств. Остальные операции на сборочном автомате проводятся без участия оператора. Платы со смонтированными изделиями снимаются с автомата вручную или автоматически и направляются на полимеризацию клея. Далее плата поступает на светомонтажный или обычный сборочный стол, где устанавливаются изделия малой применяемости. После пайки, отмывки остатков флюса и исправления дефектов собранная плата проходит визуальный и функциональный контроль. Заключительной операцией процесса сборки является нанесение влагозащитного покрытия.

Применение ручной сборки экономически выгодно при изготовлении изделий не более 15...20 тыс. шт. в год партиями по 100 шт. При этом на каждой плате может быть расположено не более 100 элементов, в том числе до 20 ИМС. Достоинствами ручной сборки являются: высокая гибкость при смене объектов производства, возможность постоянного визуального контроля, что позволяет своевременно обнаруживать дефекты плат или компонентов и устранять причины брака. Недостатки – невысокая производительность, значительная трудоемкость технологического процесса, использование высококвалифицированного рабочего персонала.

При объемах выпуска изделий порядка 100...500 тыс. шт. в год с количеством расположенных на плате элементов до 500 экономически целесообразно использовать механизированную сборку с пантографом. При этом высокая гибкость сочетается с большей, чем при ручной сборке, производительностью. В условиях массового выпуска однотипных изделий бытовой техники (0,5...5 млн шт. в год) целесообразно использовать автоматизированное оборудование (автоматы) или автоматические линии с управлением от ЭВМ.

Структура типового процесса сборки блоков на печатных платах приведена на рис. 14.



Рис. 14. Схема типового процесса сборки блоков на ПП

### ***Входной контроль***

В производстве ЭА применяют следующие виды контроля (ГОСТ 16504-70):

- *входной* – дополнительная проверка элементов по параметрам, определяющим их работоспособность и надежность с целью исключения дефектных элементов вследствие ошибок поставщика, продолжительного хранения на складе, повреждений во время транспортирования и т. д.;

- *операционный* – контроль продукции после завершения какой-либо операции;

- *приемочный* – контроль готовой продукции после окончания всех технологических операций.

При входном контроле брак исправить легче, чем в готовом изделии, поэтому все комплектующие элементы подвергаются как визуальной, так электрической проверке. При визуальной проверке обращают внимание на наличие на элементе отчетливо видимой надписи (тип, номинал, допуск, клеймо приемки ОТК), а также на отсутствие царапин, сколов, трещин, вмятин и коррозии. При электрической проверке уточняют соответствие электрических параметров элементов данным, указанным в ТУ или ГОСТах.

Входной контроль может быть сплошным (100 %) или выборочным.

*Правило контроля* гласит, что если при выборочной проверке элементов бракованным окажется большее количество элементов, чем приемочное число, то проверке подлежит удвоенное количество элементов. В случае выявления при проверке удвоенного количества изделий хотя бы одного бракованного проверка подвергают 100 % изделий полученной партии.

Надежность входного контроля зависит от метода и характера контроля.

## Подготовка электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и интегральных микросхем (ИМС) к монтажу

Подготовка навесных элементов к монтажу включает следующие операции: распаковку элементов, входной контроль, контроль паяемости выводов, рихтовку, формовку, обрезку, лужение выводов и размещение элементов в технологической таре.

С завода-изготовителя ЭРЭ поступают в разнообразной таре. Большая часть ее рассчитана на загрузочные узлы сборочных автоматов, однако часть элементов, в том числе ИМС, поставляется в индивидуальной таре-спутнике, изготавливаемой из антистатического термостойкого материала.

Для распаковки ИМС в корпусах используются автоматы. Распаковка тары заключается в снятии с корпуса тонкой пластмассовой крышки путем ее поперечного сжатия с помощью двух стержней, которые входят в контакт с краями крышки и, сближаясь друг с другом, изгибают ее и выводят из зацепления с корпусом. Освобожденная крышка уносится в сборную емкость струей сжатого воздуха, а ИМС по направляющей соскальзывает в приемную кассету.

Резисторы и конденсаторы с осевыми выводами поставляют клееными в двухрядную липкую ленту на тканевой основе.

Варианты формовки выводов ЭРЭ и установки на платы показаны на рис. 15.

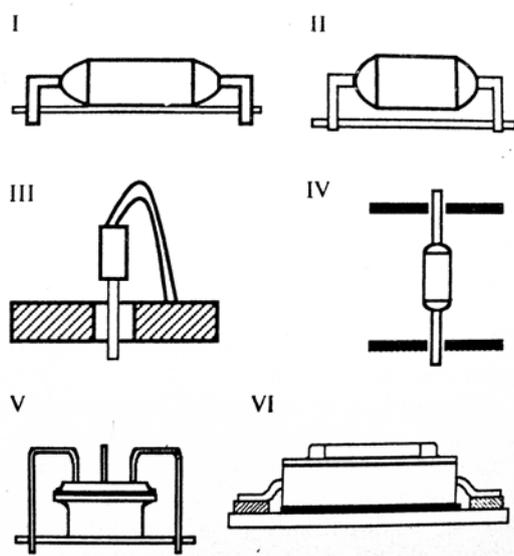


Рис. 15. Варианты установки ИЭТ на платы

Вариант I применяется для установки элементов на односторонние платы при значительных механических нагрузках. При этом используется П-образная формовка выводов элементов. Вариант II применяют для ДПП и МПП. Ему соответствует «зиг»-формовка выводов. Вариант III рекомендуется для плотной компоновки элементов на плате, IV – для межплатной конструкции блока, V – для транзисторов при значительных механических нагрузках.

ках и сохранении при демонтаже, VI – для ИМС с планарными выводами. Для фиксации ЭРЭ на плате применяют образование «зига» на одном из выводов ЭРЭ при вариантах установки III и IV.

### *Установка компонентов на платы*

Установка ЭРЭ и ИМС на платы является первым этапом монтажа, и дефекты данной операции неблагоприятно отразятся на качестве монтажных соединений. В зависимости от технической реализации различают ручную и механизированную сборку плат, причем в качестве критерия выбора оборудования принимают вариант исполнения выводов (штыревые, планарные).

Положение компонентов, полученное при сборке, не должно изменяться до момента контактирования, т. е. формирования монтажного соединения. Поэтому компоненты должны быть зафиксированы на плате. Фиксация должна быть легкой в исполнении, не допускать применения дополнительных элементов, выдерживать собственную массу элементов, осуществляться при обратном ходе рабочего инструмента. Существуют различные варианты фиксации выводов элементов в отверстиях плат (рис. 16): загибка (а), расплющивание (б), деформация (в), под действием упругих сил (г) или трения (д).

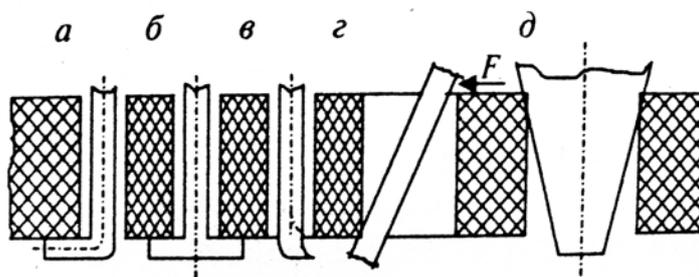


Рис. 16. Фиксация выводов компонентов в отверстиях плат

### *Технология поверхностного монтажа*

Современный этап развития ЭА характеризуется все более широким применением новейшей элементной базы – поверхностно-монтируемых элементов: безвыводных «чиповых» резисторов и конденсаторов, миниатюрных корпусов БИС, пластмассовых и керамических кристаллоносителей и др., что позволяет отказаться от плат с металлизированными отверстиями, упростить установку элементов, повысить надежность электронных блоков. Технология поверхностного монтажа (SMT) получила официальное признание в 1985 г. и имеет следующие преимущества:

1) конструктивные:

- повышение плотности компоновки элементов в 4..6 раз;
- снижение массогабаритных показателей в 3...5 раз;
- повышение быстродействия и помехозащищенности элементов за счет отсутствия выводов;

- повышение виброустойчивости и вибропрочности блоков в 2 раза;
- повышение надежности блоков за счет уменьшения количества металлизированных отверстий, являющихся потенциальным источником дефектов;
- 2) технологические:
  - автоматизация сборки и монтажа элементов и повышение производительности труда в десятки раз;
  - исключение операций подготовки выводов и соответствующего оборудования;
  - сокращение производственных площадей на 50 %;
  - уменьшение затрат на материалы.

К недостаткам следует отнести ограниченную номенклатуру поверхностно-монтируемых элементов, их высокую стоимость, затрудненность отвода тепла, сложность контроля и ремонта.

При поверхностном монтаже применяют следующие виды корпусов:

- 1) простые корпуса для пассивных компонентов:
  - прямоугольной формы, например резисторов и конденсаторов;
  - типа MELF (Metal Electrode Face Bonded) с вмонтированными электродами в виде металлизированных торцов;
- 2) сложные корпуса для многовыводных полупроводниковых приборов:
  - малогобаритный транзисторный (Small Outline Transistor – SOT);
  - малогобаритный (Small Outline – SO) для интегральных схем;
  - увеличенный малогобаритный (Small Outline Large – SOL) для интегральных схем;
  - пластмассовые кристаллоносители с выводами (Plastic Leaded Chip Carrier - PLCC);
  - безвыводные керамические кристаллоносители (Leadless Ceramic Chip Carrier – LCCC);
  - керамические кристаллоносители с выводами (Leaded Ceramic Chip Carrier – LDCC);
- 3) различные нестандартные корпуса для компонентов неправильной формы, например индуктивностей и переключателей.

Установка элементов на платы производится на автоматических линиях.

### *Способы групповой пайки*

Современные способы групповой пайки блоков ЭА можно классифицировать по способу передачи тепловой энергии (рис. 17).

При *пайке погружением* собранная плата стороной пайки опускается в расплавленный припой, который является источником нагрева. Так как переход теплоты от жидкого припоя большой массы (50 кг и более) к контактными площадкам и выводам компонентов происходит достаточно быстро, то нагрев зоны соединения до температуры пайки достигается в течение 1...2 с. В зависимости от характера движения платы относительно поверхности припоя различают следующие способы пайки погружением: вертикальным перемещением (а), наклонным перемещением (б), колебательным движением (в),

маятниковым движением (г), протягиванием по поверхности припоя (д), избирательной подачей припоя (е) (рис. 18).

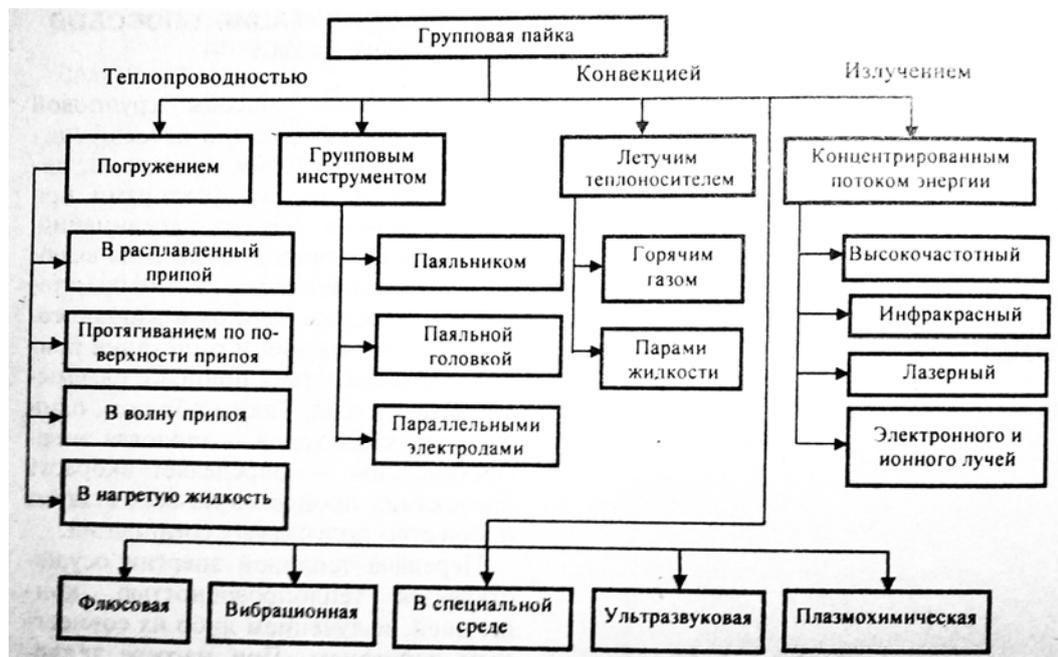


Рис. 17. Классификация способов групповой пайки

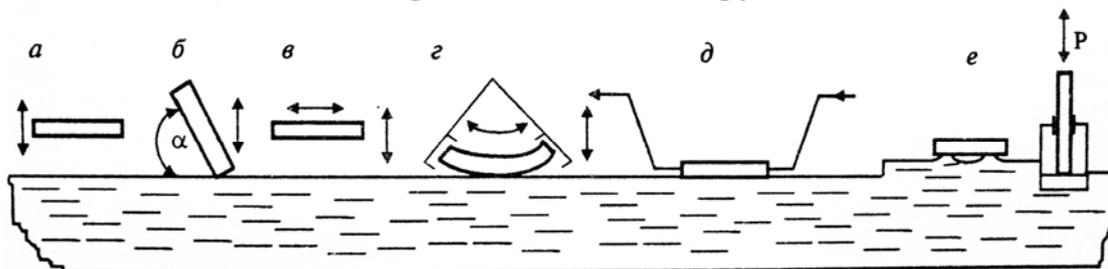


Рис. 18. Способы пайки погружением

*Пайка протягиванием* по поверхности припоя заключается в том, что плата укладывается в держатель, который под углом  $5...10^\circ$  опускается на поверхность припоя и протягивается определенное расстояние по зеркалу припоя. Впереди держателя имеется скребок, который очищает поверхность зеркала от оксидов припоя. При подъеме платы излишки припоя стекают в ванну. Поскольку спокойная ванна припоя имеет меньшую склонность к окислению, то состав и чистота припоя поддерживаются с хорошим постоянством. Скорость протягивания составляет  $5...8$  м/мин, время протягивания одной платы – до 10 с. Установки для пайки протягиванием легко встраиваются в обычный сборочный конвейер. Недостатками способа являются относительно большое время пайки и связанное с этим значительное тепловое воздействие на поверхность платы. Последний недостаток устраняется применением защитных масок.

Во избежание коробления плат при пайке погружением термочувствительных элементов применяют *избирательную пайку*, которая заключается в подаче припоя только в места пайки. Ванна с припоем закрыта специальным

кондуктором, в котором имеются отверстия, точно соответствующие числу и расположению зон пайки. Подача припоя осуществляется с помощью поршня, который выдавливает его через отверстия кондуктора в места пайки. Недостатком метода является трудность перестройки на другой типоразмер плат.

*Пайку погружением в нагретую жидкость*, например жидкий теплоноситель ОЖ-1 на основе лапрола Л2502-ОЖ при температуре 260 °С или глицерин при температуре 240 °С, используют главным образом для оплавления гальванического покрытия олово-свинец на печатных платах с целью улучшения их паяемости.

Способ *пайки волной* (wave soldering), впервые предложенный в 1955 г. в Англии, в настоящее время самый распространенный в промышленности для пайки печатных плат крупносерийного и массового производства электронной аппаратуры. Преимущества этого способа заключаются в высокой производительности вследствие механизированного движения плат относительно припоя и возможности создания автоматизированных установок, включающих полный комплекс операций: обезжиривание, флюсование, подогрев, пайку, отмывку от флюса и сушку, во взаимодействии платы с чистой поверхностью припоя в короткий промежуток времени, что снижает термоудар, коробление диэлектрика, перегрев элементов. Недостатки – большая масса припоя в ванне (100 – 500 кг), повышенные габариты оборудования, большее окисление припоя. В ванне с припоем создается волна, которая проходит по поверхности печатной платы и осуществляет пайку.

*Пайку групповым инструментом* применяют для интегральных микросхем и других компонентов с большим количеством выводов.

Механизированную пайку планарных выводов ИМС ведут несколькими способами: миниатюрными паяльниками с дозированной подачей припоя; групповыми паяльниками прямого нагрева; инструментом с параллельными электродами; лазерным излучением.

*Пайка горячим газом* нашла применение для присоединения «чиповых» элементов к многослойным керамическим платам. Инертный газ (аргон, азот или их смесь) нагревается, проходя под давлением через электронагревательные элементы мощностью 0, ... 1,0 кВт. Температура газа регулируется путем изменения его скорости и напряжения на электронагревательных элементах таким образом, чтобы она превышала на 150 °С точку плавления припоя. Струя газа вырывается из сопла диаметром 2,5 мм, что позволяет локализовать нагрев паяемых мест. Отсутствие контакта с источником теплоты обеспечивает высокое качество паяных соединений.

Технологию *пайки в паровой фазе (конденсационную пайку)* предложила в 1973 г. фирма Du Pont (США), после того как были запатентованы специальные термостабильные рабочие жидкости. К преимуществам данного метода относятся равномерный нагрев электронной сборки до постоянной во времени температуры пайки в анаэробной инертной среде с применением слабоактивированных флюсов, что позволяет получать однородные паяные соединения и исключает образование перемычек из припоя.

Необходимые для пайки припой и флюс наносят на плату в виде припойной пасты перед ее погружением в пар. По мере погружения платы в зону насыщенного пара над кипящей рабочей жидкостью пар конденсируется по всей ее поверхности, быстро и равномерно нагревая до температуры пайки. При этом припойная паста расплавляется и образует галтель между выводом компонента и контактной площадкой платы. Когда температура платы достигнет температуры жидкости, процесс конденсации прекращается, тем самым заканчивается и нагрев платы. Повышение температуры платы до температуры расплавления припоя осуществляется в короткий промежуток времени (до 10 с) и не поддается регулированию. Для уменьшения термических напряжений в компонентах осуществляют предварительный подогрев платы.

### ***Внутриблочный и межблочный монтаж***

Под электромонтажными работами понимают совокупность технологических операций, обеспечивающих электрическое соединение элементов, сборочных единиц, входящих в блоки, комплексы, системы и изделия. Электрический внутри- и межблочный монтаж ЭА в зависимости от сложности и конструктивного уровня аппаратуры выполняется одиночными проводами и кабелями, жгутами, жесткими и гибкими платами (рис. 19).

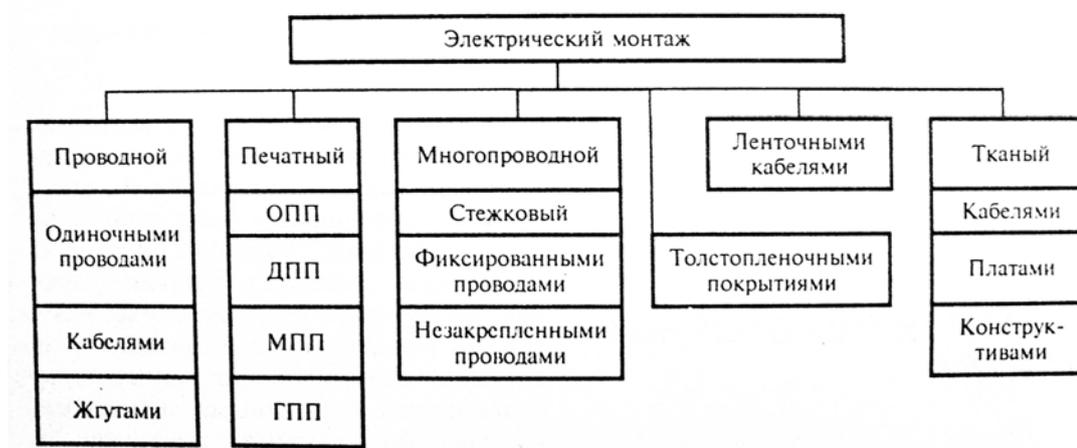


Рис. 19. Классификация методов монтажа

Выбор метода монтажа определяется требованиями, предъявляемыми к изготавливаемой аппаратуре, ее сложностью, учетом величины помех. Напряжение помех, вызванное электрическим монтажом, складывается из емкостной, индуктивной и гальванической составляющих. Емкостная составляющая определяется длиной, сечением и типом изоляции проводов, расстоянием между ними и земляными шинами, а индуктивная – рабочей частотой, длиной проводов и расстоянием между ними. Гальванические помехи возникают в цепях электропитания при увеличении омического сопротивления токопроводящих шин. Для снижения помех этого вида провода питания выполняются плоскими, минимальной длины с поперечным сечением, соответствующим токовой нагрузке.

Проводной монтаж представляет собой электрическое соединение отдельных элементов и сборочных единиц с помощью одиночных изолированных проводников (кабелей) или системы проводников, объединенных в жгут. Он применяется для внутри- и межблочного монтажа аппаратуры. Наибольшая плотность монтажа – до 300 элементов на 1 дм<sup>2</sup>. Монтаж одиночными проводами трудно механизировать и автоматизировать, поэтому доля такого монтажа в дальнейшем постоянно сокращается. Объединение проводов в жгут позволяет выполнять подготовительные операции параллельно со сборкой, использовать автоматизированное оборудование, обеспечивать механическую прочность и стабильность параметров монтажных соединений при повышенных вибрационных и ударных нагрузках.

Печатный монтаж отличается высоким уровнем автоматизации и получил распространение для внутриблочного монтажа. Он выполняется на плоских диэлектрических основаниях и используется в качестве конструктивного элемента (печатной платы). Межблочный монтаж в конструктивных модулях третьего и четвертого уровней ЭА осуществляют путем соединения печатных плат гибкими шлейфами или ленточными кабелями. Наибольшая плотность монтажа достигает 1000 элементов на 1 дм<sup>3</sup>. Многопроводной монтаж выполняют фиксированными или незакрепленными проводами, а также стежковым методом. Многопроводной монтаж фиксируемыми проводами (метод Multi-ire) представляет собой упорядоченное прокладывание изолированных проводов по поверхности двусторонних печатных плат с фиксацией их в слое адгезива. Монтаж осуществляется автоматически по программе с помощью специального оборудования и экономически целесообразен при макетировании в опытном и мелкосерийном производстве.

Монтаж толсто пленочными металлическими покрытиями осуществляется при изготовлении керамических многослойных плат, содержащих до 30 металлизированных слоев, соединенных между собой металлизированными отверстиями диаметром 0,12 мм с шагом 0,5 мм. На лицевой стороне платы размерами 90x50x5 мм устанавливают от 100 до 130 бескорпусных ИМС.

К проводному монтажу предъявляются следующие требования: минимальная длина электрических связей; обеспечение надежных электрических и механических контактов; технологичность при изготовлении и ремонте аппаратуры; высокая помехоустойчивость за счет применения экранов, заземления каждого экрана в отдельности, пересечения монтируемых высокочастотных цепей под углом, близким к 90°; соблюдение допустимых расстояний между оголенными участками проводов и металлическими поверхностями конструкций (не менее 3 мм для цепей с напряжением до 250 В и 5 мм для цепей с напряжением выше 250 В); подключение не более 2...3 проводов под один зажимный контакт и выбор сечения проводов в зависимости от токовой нагрузки; антикоррозионное или технологическое покрытие оголенных участков проводов под пайку.

К проводам для жгутового монтажа предъявляются следующие требования: высокая механическая и электрическая прочность; гибкость, эластичность, возможность фигурной укладки; наличие цветной изоляции или маркировочных бирок на концах проводников; соответствие сечения провода и

изоляции току нагрузки, допускаемому падению напряжения; наличие паяемых и антикоррозионных покрытий. Для фиксированного внутриблочного монтажа используют медные провода с волокнистой изоляцией из капроновых нитей (МШДЛ, МЭШДЛ, МГШ, МГШД), пластика (ПВХ, НВ, НВМ), с комбинированной волокнисто-полихлорвиниловой (МШВ, МГШ В, БПВЛ), полихлорвиниловой (ПМВ, МГВ), поливинилхлоридной (МКШ, МПКШ) и резиновой (ЛПРГС, ПРП, АПРФ, ПРГ) изоляцией. Монтаж при повышенной температуре ведут проводами в изоляции из стекловолокна (МГСЛ, МГСЛЭ). При повышенных температуре (до 250 °С) и влажности используют провод с фторопластовой изоляцией (МГТФ), для аппаратуры, работающей в интервале температур -60... +40 °С, – провода в шланговой оболочке из морозостойкой резины марок РПД и РПШЭ.

Монтажные провода поставляются в бухтах. Часть проводов, в первую очередь с резиновой изоляцией, имеет луженые токопроводящие жилы, что ускоряет процесс полготовки проводов к монтажу. При выборе цвета изоляции монтажных проводов и их обозначений на электромонтажных схемах рекомендуется учитывать назначение электрической цепи. Помимо цвета провода могут различаться с помощью бирок, липких лент или путем нанесения маркировочных обозначений непосредственно на изоляцию проводов (например, красный – для цепей с высоким положительным потенциалом, синий – с отрицательным потенциалом, желтый – питание переменным током, черный – нулевое значение потенциала и т. д.).

Наиболее широкое применение получила маркировка с помощью маркировочных бирок, изготовленных из полихлорвиниловых трубок. Бирку закрепляют на конце провода таким образом, чтобы она перекрывала обрез его изолирующей оплетки на 1...3 мм и не сползала при тряске и вибрации. Изготовление бирок включает маркировку, сушку и отрезку полихлорвиниловых трубок и осуществляется на специальных автоматах.

Подготовка проводов к монтажу включает следующие операции: мерную резку, удаление изоляции и заделку концов проводов, маркировку, облуживание и свивание проводов. Мерную резку проводов вручную выполняют ножницами, кусачками, определяя длину провода по шаблону. В мелкосерийном производстве эта операция механизмуется с помощью устройств мерной резки.

Зачистка проводов от изоляции должна обеспечить технологичность монтажа и надежность контактного соединения. Для большинства соединений зачистку осуществляют на длину 7...10 мм, для многожильных проводов – 10...15 мм (рис. 20).

Изоляцию проводов удаляют:

- МГВ, МГВЛ, МГВЛЭ, МГВСЛ электрообжигом;
- МГСЛ (с внутренней изоляцией из стекловолокна) надрезом на автомате, специальными щипцами;
- МГТФ, МГТФЛЭ (термостойкая фторопластовая изоляция) надрезом;
- ЛГШ (хлопчатобумажная пряжа), МОГ (шелк, капрон), МГТЛ (лавсановая) электрообжигом;
- МШВ, МГШВ (пленочная и волокнистая изоляция) электрообжигом;

- эмалевую изоляцию с проводов ПЭТ, ПЭЛ шлифовальной шкуркой, шабером;
- ЭВ и ПЭМ погружением в муравьиную кислоту и протиркой бязью;
- многожильных ЛЭШО и ЛЭШД нагревом в верхней части пламени спиртовой горелки и погружением в спирт с последующей протиркой бязью либо погружением в расплав солей (хлористый калий) при температуре 768 °С на 1...2 с.

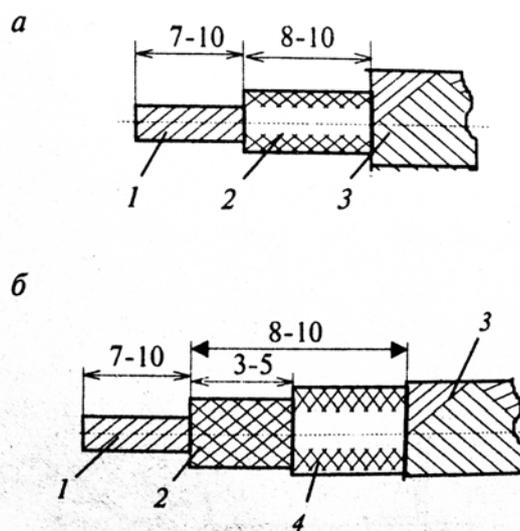


Рис. 20. Разделка концов проводов с изоляцией:

а – пластиковой; б – комбинированной; 1 – провод; 2 – пластиковая изоляция; 3 – экран; 4 – волокнистая изоляция

Лужение монтажных проводов осуществляют путем погружения оголенных участков в ванны с припоем ПОС61, ПОС61М.

### *Методы регулировки*

Под *регулировкой* понимают комплекс работ по доведению параметров устройств до значений, соответствующих требованиям ТУ с заданной степенью точности. Целью регулировки является обеспечение заданных параметров устройства в пределах допуска, гарантирующего нормальную эксплуатацию, при наименьших затратах на регулировку и устранение неисправностей, допущенных при сборке и монтаже. Регулировочные работы включают:

- устранение неисправностей, возникших при сборочно-монтажных и регулировочных операциях;
- настройку резонансных систем (контуров) путем изменения параметров подстроечных элементов или с помощью магнитных сердечников;
- установку оптимальных режимов отдельных каскадов и всего блока в целом;
- сопряжение электрических, радиотехнических и кинематических параметров устройства и отдельных его блоков.

Различают технологическую (производственную) и эксплуатационную регулировки. В первом случае добиваются наилучших показателей всеми имеющимися регулировочными элементами при их среднем положении, во втором – с помощью эксплуатационных регулировочных элементов, вынесенных на лицевую или заднюю панель.

В зависимости от вида организации производства регулировку осуществляют с помощью универсальной измерительной аппаратуры или специальной регулировочной оснастки (стендов, имитаторов, пультов и т. д.). При работе с ВЧ-блоками регулировку проводят в экранированных камерах, которые снижают уровень помех от внешних электромагнитных полей. При регулировке ЭА используют два метода: инструментальный (по измерительным приборам) и электрического копирования (путем сравнения настраиваемого прибора с образцом). Суть инструментальной регулировки (рис. 21, а) заключается в том, что на входе и выходе регулируемого объекта измеряют с помощью приборов электрические параметры и регулировочными элементами добиваются их оптимального значения.

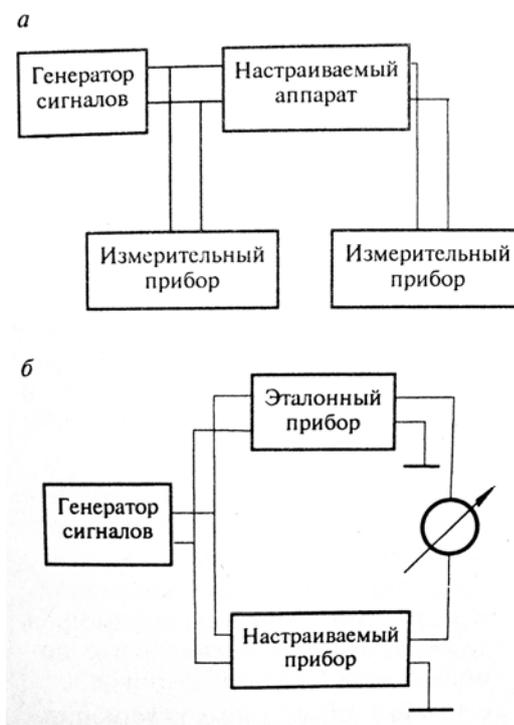


Рис. 21. Схема методов регулировки:  
а – инструментального; б – электрического копирования

Регулировка методом электрического копирования заключается в том, что производится сравнение эффекта воздействия электрического сигнала как на регулируемый объект, так и на объект, принятый за образец (рис. 21, б). При этом нет необходимости знать точные значения электрических параметров, возможно применение стендов для регулировки.

## ***Технологическая тренировка и испытания***

Технологическая тренировка ЭА представляет собой испытания аппаратуры с целью выявления и устранения приработочных отказов.

После окончания «жестких» технологических испытаний аппаратура должна проработать такое же время в нормальных условиях. Поскольку в процессе технологической тренировки происходит иногда отклонение параметров за пределы ТУ, необходимо предусмотреть регулировочную операцию и повторить технологический прогон. Нарушение режимов и продолжительности технологической тренировки оборачивается значительным браком готовой продукции.

При проектировании технологической тренировки определяют:

- время тренировки (10...200 ч);
- последовательность и жесткость технологических испытаний, при которых постепенно уменьшается «жесткость» режима (термоудар, циклическое воздействие температур и др.);
- периодичность проверки параметров;
- объем контролируемых параметров, автоматизацию контроля ряда параметров аппаратуры.

Испытания на термоудар проводятся с целью определения устойчивости межсоединений в ПП путем контроля изменения сопротивления последовательно соединенных металлизированных отверстий («ныряющий проводник»). Испытуемая плата не должна иметь покрытия, которое снимается химическим способом.

## ***Классификация методов герметизации***

Электронная аппаратура эксплуатируется в различных климатических условиях, поэтому на надежность ее работы влияют температура окружающей среды, влага, пыль, биологическая среда, радиация и другие факторы. Под действием температуры происходит изменение физических параметров материалов деталей, их старение и ухудшение эксплуатационных свойств. Биологическая среда содержит микроорганизмы, в частности плесневые грибки и бактерии, выделяющие в продуктах обмена различные кислоты, которые вызывают разложение органических материалов. Пыль из окружающей атмосферы, оседая на поверхности материалов, адсорбирует влагу, увеличивает поверхностную электропроводность материалов, ускоряет коррозию металлических покрытий, способствует образованию плесени.

Наиболее вредное влияние на намоточные изделия, функциональные элементы (полупроводниковые приборы, ИМС, БИС и СБИС), сборочные единицы и блоки на печатных и многослойных платах оказывает влага, проникновение которой в поры изоляционных материалов (размеры молекул воды имеют диаметр, равный  $(2,7...3,4) \cdot 10^{-2}$  мкм, что значительно меньше размеров пор изоляционных материалов) приводит к снижению объемного сопротивления, возрастанию диэлектрических потерь и ухудшению диэлектри-

ческой проницаемости. Гигроскопичные материалы органического происхождения при увлажнении набухают, при этом изменяются геометрические размеры деталей. Влага, конденсируясь на поверхности деталей, образует электропроводящие мостики между контактами, оказывая шунтирующее действие и резко снижая объемное сопротивление диэлектриков. Попадание влаги между витками обмоток создает благоприятные условия для возникновения коррозии меди, что приводит в конечном счете к обрыву провода обмотки. Влага оказывает вредное воздействие на металлы, вызывает их коррозию.

**Герметизация** – это совокупность работ по обеспечению работоспособности ЭА в процессе ее производства, хранения и последующей эксплуатации.

Герметизация может быть поверхностной и объемной (рис. 22).

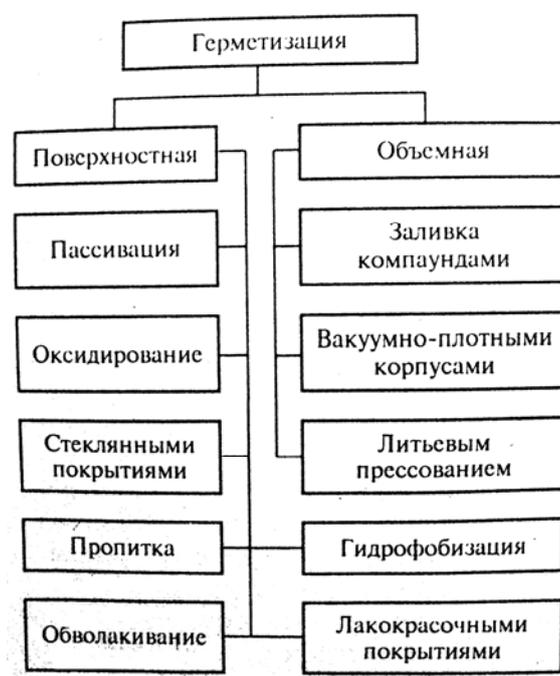


Рис. 22. Классификация методов герметизации

*Пассивация и оксидирование* – процессы подавления химически активных центров, снижающие восприимчивость поверхностей к воздействию внешней среды, которые используются в производстве полупроводниковых кремниевых приборов и ИМС. Пассивация заключается в проведении силанирования, этилирования, сульфидирования, что приводит к образованию тонких защитных пленок (до 1 мкм). Оксидирование осуществляют при температуре 850—1200 °С в атмосфере сухого кислорода или в парах воды при высоком давлении и температуре 500—900 °С. Толщина пленки диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>) составляет 0,1-1,5 мкм, она является средством технологической защиты поверхности и в сочетании с последующей герметизацией способствует повышению эксплуатационной надежности приборов.

*Герметизация стеклянными покрытиями*, наносимыми термическим испарением в вакууме халькогенидных, боросиликатных, фосфосиликатных

и других стекол, позволяет дополнительно защитить слоем стекла толщиной 0,3...10 мкм пленочные конденсаторы, резисторы и ИМС.

Основными способами покровной герметизации являются пропитка, обволакивание, гидрофобизация. *Пропитка* заключается в заполнении пор, трещин, пустот в изоляционных материалах, а также промежутков между конструктивными элементами узлов электроизоляционными негигроскопичными материалами. Пропитке подвергаются многие детали и сборочные единицы ЭА, изготовленные из волокнистых электроизоляционных материалов, являющихся пористыми и гигроскопичными. К ним относятся намоточные изделия, каркасы катушек и др. Одновременно с повышением влагозащиты при пропитке достигается повышение механической прочности, нагревостойкости, теплопроводности и химической стойкости.

Применение пропитки нецелесообразно для таких изделий, как импульсные трансформаторы с малой длительностью импульсов или высокочастотные низковольтные катушки, так как при этом увеличиваются паразитные емкости изделий. *Обволакиванием* называется процесс создания покровной оболочки на поверхности изделий, предназначенных для кратковременной работы в условиях влажной среды (не более 100 ч). Появление микроскопических каналов и зазоров вследствие разницы в температурных коэффициентах расширения и усадки обволакивающего материала и изделия неизбежно приводит к проникновению влаги внутрь изделия и потере герметичности.

Для обволакивания используются материалы, удовлетворяющие следующим требованиям: высокая адгезия к материалам покрываемого изделия, достаточная механическая прочность, малая влагопроницаемость, высокие электроизоляционные свойства. Процесс обволакивания осуществляется несколькими способами:

- окунанием в расплавленный материал на 1,5...2 с; толщина слоя покрытия зависит от вязкости материала, разности температур обволакивающего состава и изделия (чем выше разность температур, тем больше толщина слоя);

- пресс-обволакиванием расплавленным термопластичным материалом под давлением, что дает равномерный по толщине слой;

- опрессовкой.

Разновидностью обволакивания является *гидрофобизация* изделий. Гидрофобизация – повышение влагостойкости материалов, деталей и изделий путем нанесения на их поверхность защитной пленки. Для получения высокой водоотталкивающей способности пленок используют кремнийорганические высокомолекулярные соединения. Гидрофобизацию применяют для обработки стекла, керамики, сложных диэлектриков, пластмасс и тканей. Обработанные материалы теряют способность не только поглощать влагу, но и смачиваться ею.

Микроминиатюризация и связанная с ней высокая плотность монтажа в микромодульных конструкциях ЭА предъявляют особые требования к герметизирующим материалам, которые должны обеспечить надежную изоляцию между элементами в аппаратуре с высокой плотностью монтажа, сохранение

функциональной точности выходных параметров узла, механическую прочность и защиту сложных и чувствительных элементов. Стоимость герметичных кожухов и корпусов довольно высока, поэтому полную герметизацию проводят в случаях, *специально оговоренных* в технических условиях на РЭА. Наиболее эффективным способом защиты ЭА от климатических воздействий и повышения ее надежности является *герметизация*, которая заключается в размещении изделий внутри вакуумно-плотных корпусов и оболочек из металла, стекла и керамики.

Достоинства герметизации – обеспечение надежной защиты изделий от внешних воздействий за счет обеспечения высокой герметичности, устойчивость к ударным воздействиям и вибрациям. Недостатки – высокая стоимость герметичных корпусов и оболочек, трудоемкость.

При использовании вакуумно-плотных корпусов в них предусматриваются выводы.

Изготавливают корпуса, кожухи, оболочки литьем, глубокой вытяжкой, ударным выдавливанием или сваркой из отдельных деталей. Конструкции корпусов подразделяются на: сборные, соединяемые методом сварки, изготовленные глубокой вытяжкой, ударным выдавливанием, фрезерованием на станках с ЧПУ. По используемому материалу корпуса подразделяются на металлические, металлокерамические, металостеклянные, керамические, стеклянные и пластмассовые. Материалы, используемые в конструкциях корпусов: ковар (сплав 29НК: 29 % *Ni*, 18 % *Co*, 53 % *Fe*); стекло С-49-2, керамика 22ХС, «Поликор».

К недостаткам методов сварки относятся высокая трудоемкость, связанная с переориентацией корпусов, высокое температурное воздействие на схему, значительный брак.

В ряде случаев для герметизации корпусов применяют холодную сварку, для которой необходим пластичный металл (специальный коваровый лист, плакированный медью).

Роликовая сварка используется для больших круглых и прямоугольных корпусов.

Сварка лазерным лучом имеет следующие преимущества: не требуется сжатие и защитная атмосфера; свариваемые металлы могут быть разнородными; снижается нагрев корпуса.

Герметизация изделий в монолитных пластмассовых корпусах осуществляется жидкими компаундами под давлением. Герметичность пластмассовых корпусов недостаточно надежна. Вследствие разницы ТКЛ в зоне вывод – основание возможно возникновение микротрещин, поэтому средняя влагостойкость таких корпусов составляет 10 сут.

#### **1.4. Изготовление печатных плат**

*Печатные платы* (ПП) – это элементы конструкции, которые состоят из плоских проводников в виде участков металлизированного покрытия, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединение эле-

ментов электрической цепи. Они получили широкое распространение в производстве модулей, ячеек и блоков ЭА.

*Печатным монтажом* называется совокупность плоских проводников, нанесенных на изоляционное основание и обеспечивающих требуемое соединение элементов в электрической цепи. Применение печатного монтажа по сравнению с объемным позволяет:

- увеличить плотность монтажных соединений и обеспечить миниатюризацию изделий;
- обеспечить унификацию и стандартизацию конструктивных и технологических решений;
- увеличить надежность за счет резкого сокращения числа паяных соединений в изделии;
- гарантировать стабильность электрических характеристик;
- улучшить вибропрочность, теплоотдачу и стойкость к климатическим воздействиям;
- автоматизировать операции сборки и монтажа ЭА, уменьшить трудоемкость и снизить стоимость изделия.

К недостаткам печатного монтажа следует отнести сложность внесения изменений в конструкцию изделия, ограниченную ремонтпригодность, повышенный расход цветных металлов.

Элементами ПП являются диэлектрическое основание, металлическое покрытие в виде рисунка печатных проводников и контактных площадок, монтажные и фиксирующие отверстия.

### ***Классификация плат и методов их изготовления***

В настоящее время разработано большое число конструктивно-технологических разновидностей коммутационных плат (КП). В зависимости от числа проводящих слоев КП разделяются на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП), многослойные (МПП), по конструктивному исполнению – на жесткие и гибкие платы (ГПП), а также платы с проводным монтажом.

ОПП выполняются на слоистом прессованном или рельефном литом основании без металлизации (рис. 23, а) или с металлизацией (рис. 23, б) отверстий.

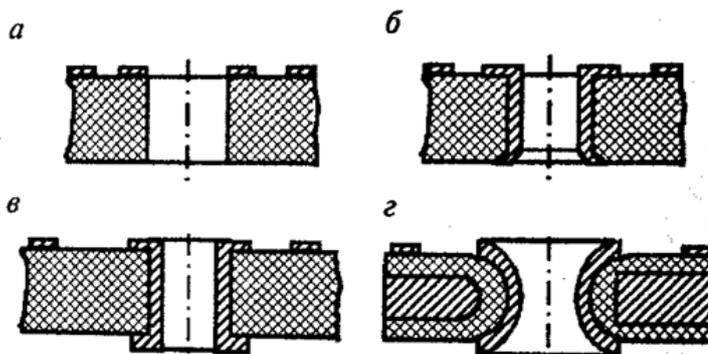


Рис. 23. Конструктивные варианты ОПП и ДПП

Платы на слоистом диэлектрике просты по конструкции и экономичны в изготовлении. Их применяют в бытовой РЭА, блоках питания, устройствах техники связи. Высокую технологичность и нагревостойкость имеют рельефные литые платы, на одной стороне которых расположен печатный монтаж, а на другой – объемные элементы. Более надежны в эксплуатации платы с металлизированными отверстиями.

ДПП имеют проводящий рис. на обеих сторонах диэлектрического (рис. 23, в) или металлического (рис. 23, г) основания, а необходимые соединения выполняются с помощью металлизированных отверстий. Такие платы позволяют реализовать более сложные схемы, обладают повышенной плотностью монтажа и надежностью соединений, имеют лучший теплоотвод, однако требуют нанесения изоляционного покрытия и сложны в изготовлении. Расположение элементов печатного монтажа на металлическом основании позволяет решить проблему теплоотвода в мощной радиопередающей аппаратуре. ДПП используются в системах управления и автоматического регулирования, ЭВМ, измерительной технике.

МПП состоят из чередующихся слоев изоляционного материала и проводящего рисунка, соединенных клеевыми прокладками в монолитную структуру путем прессования. Электрическая связь между проводящими слоями выполняется перемычками, печатными элементами или химико-гальванической металлизацией. По сравнению с ОПП и ДПП МПП характеризуются повышенной плотностью монтажа и надежностью, устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям, уменьшением размеров конструкции и сокращением количества контактов. Соотношение трудоемкости изготовления плат ОПП: ДПП: МПП 1:4:20. Большая трудоемкость изготовления, высокая точность рисунка и совмещения отдельных слоев, низкая ремонтпригодность и сложность технологического оборудования, а также высокая стоимость вынуждают применять МПП только для тщательно отработанных конструкций электронно-вычислительной, авиационной и космической аппаратуры.

ГПП выполняются конструктивно как ОПП и ДПП, но на эластичном основании, и применяются для конструкций» подвергаемых вибрациям, изгибам, или когда плате после установки ЭРЭ необходимо придать компактную изогнутую форму. Разновидностью ГПП являются гибкие печатные кабели (ГПК), которые состоят из одного или нескольких слоев толщиной 0,06...0,3 мм с печатными проводниками и применяются для межблочного монтажа.

Проводные платы представляют собой диэлектрическое основание, на котором выполняют печатный монтаж или его отдельные элементы (контактные площадки, шины питания и заземления), а необходимые электрические соединения проводят изолированными проводами диаметром 0,1...0,2 мм. Трехслойная проводная плата эквивалентна по плотности монтажа восьмислойной МПП. Проводные платы нашли применение на этапах макетирования, разработки опытных образцов, в мелкосерийном производстве, когда проектирование и изготовление МПП неэкономичны.

Методы изготовления плат разделяют на три группы: субтрактивные, аддитивные и последовательного наращивания. При *субтрактивных* методах (от лат. *substratio* – отнимание) проводящий рисунок образуется путем удаления фольги с незащищенных участков поверхности. Для этого на фольгированный диэлектрик наносится рис. схемы, а незащищенные участки фольги травятся. Дополнительная химико-гальваническая металлизация монтажных отверстий позволяет получать двусторонние платы комбинированными методами. К недостаткам субтрактивного химического метода относятся значительный расход меди и наличие бокового подтравливания элементов печатных проводников, что уменьшает адгезию фольги к основанию.

Указанного недостатка лишен *аддитивный* (от лат. *additio* – прибавление) метод изготовления ПП, основанный на избирательном осаждении химической меди на нефольгированный диэлектрик. При этом используют диэлектрик с введенным в его состав катализатором и адгезивным слоем на поверхности. Платы, изготовленные аддитивным методом, имеют высокую разрешающую способность (проводники шириной до 0,1 мм), затраты на производство таких плат снижаются на 30 % по сравнению с субтрактивными методами, экономятся медь, химикаты для травления и улучшается экологическая обстановка на предприятиях. Аддитивный метод имеет более высокую надежность, так как проводники и металлизацию отверстий получают в едином химико-гальваническом процессе, устраняется подтравливание элементов печатного монтажа. Однако применение аддитивного метода в массовом производстве ограничено низкой производительностью процесса химической металлизации, интенсивным воздействием электролитов на диэлектрик, недостаточной адгезией проводников.

При *полуаддитивном*, или химико-гальваническом, методе на диэлектрическом основании сплошной токопроводящий слой получают химическим осаждением, а затем усиливают его до необходимой толщины в местах расположения печатных проводников и контактных площадок электрохимическим методом. В этом случае достигается лучшая адгезия рисунка ПП к диэлектрику (прочность на отрыв в 1,5 раза выше, чем у аддитивного). Толщина меди получается одинаковой на всех участках плат и в металлизированных отверстиях.

*Метод последовательного наращивания* применяют при формировании многослойной структуры на керамической плате, состоящей из чередующихся изоляционных и проводящих слоев. В изоляционных слоях в местах создания межслойных переходов выполняют окна, через которые при нанесении следующего проводящего слоя формируется электрическое межслойное соединение. При использовании толсто пленочной технологии изоляционные и проводящие составы наносят путем трафаретной печати и затем вжигают. Преимущества этого метода – высокая надежность плат, большая гибкость при изменениях схемы, незначительные затраты на оборудование. Недостатки – наличие операции вжигания, невысокая производительность процесса.

Базовыми ТП в производстве ПП являются: нанесение рисунка схемы на основание; получение рисунка схемы (травление, электрохимическая металлизация); механическая обработка плат (сверление, пробивка отверстий); за-

шита печатных проводников для обеспечения пайки; контроль параметров печатных проводников.

В качестве основы гетинакс, представляющий собой спрессованные слои электроизоляционной бумаги, пропитанные фенольной смолой, стеклотекстолиты – спрессованные слои стеклоткани, пропитанные эпоксифенольной смолой, и другие материалы, керамические материалы, сталь и алюминий, неполярные (фторопласт, полиэтилен, полипропилен) и полярные (полистирол, полифенилен-оксид) полимеры, полиамидную пленку.

Литература: [2, 3, 5]

## РАЗДЕЛ 2 ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ

### 2.1. Классификация испытаний и способов их проведения

#### *Классификация испытаний*

Все применяемые методы испытаний классифицируются на две большие группы: физические испытания реальных приборов или их макетов и испытания с использованием моделей.

**Физические испытания** могут проводиться как при внешних воздействующих факторах, создаваемых искусственным путем с помощью испытательных стендов (*стендовые испытания*) или специальных методов и средств, применяемых в лабораторных условиях (*лабораторные испытания*), так и при естественных внешних воздействующих факторах.

Лабораторные и стендовые испытания приборов отличаются от реальной эксплуатации тем, что при их проведении не представляется возможным моделировать все внешние воздействия одновременно в той случайной совокупности, которая имеет место при реальной эксплуатации. Поэтому при исследовании влияния внешних воздействующих факторов наряду с лабораторными и стендовыми испытаниями проводятся также испытания приборов в естественных условиях окружающей среды.

В зависимости от условий и места проведения испытаний при воздействии естественных внешних факторов различают полигонные и натурные испытания приборов.

Цель *полигонных и натурных испытаний* – исследование комплексного влияния факторов, естественно воздействующих на изменение параметров, свойств и механизмы отказов приборов при их эксплуатации и хранении. Эти испытания обеспечивают получение наиболее полной и достоверной информации о комплексном влиянии факторов окружающей среды на параметры, характеризующие прибор; позволяют исследовать характер реальных физико-химических процессов, протекающих в материалах и комплектующих изделиях прибора при воздействии естественных внешних факторов; дают возможность уточнять данные, полученные при испытании объекта под воздействием внешних факторов, создаваемых искусственным путем, а также нормы на допустимые изменения параметров (критерии годности). По результатам полигонных и натурных испытаний разрабатывают рекомендации по способам защиты приборов от внешних воздействующих факторов.

К физическим испытаниям при естественных внешних воздействующих факторах следует отнести также *эксплуатационные испытания*, т.е. испытания объекта, проводимые при эксплуатации. Одним из основных видов эксплуатационных испытаний является *опытная эксплуатация* приборов.

*Испытания с использованием моделей* осуществляются методами физического и математического моделирования. Применение этих методов позволяет отказаться от ряда сложных физических испытаний приборов.

## ***Виды испытаний***

Порядок и содержание испытаний прибора зависят от того, является ли он опытным образцом или серийно выпускаемым изделием.

Испытания опытных образцов делятся на предварительные и государственные.

При *предварительных испытаниях* проверяют соответствие опытного образца (макета) заданным условиям и его выходные характеристики. По полученным данным отрабатывают технические условия.

При *государственных испытаниях* опытный образец полностью проверяют на соответствие заданным условиям и решают вопрос о возможности запуска таких приборов в серийное или массовое производство.

В серийном производстве изготовленные приборы подвергают испытаниям, которые можно разделить на приемные, приемосдаточные, периодические (типовые контрольные) и проверочные.

*Приемные испытания* приборов проводит отдел технического контроля (ОТК). Цель их – проверка соответствия изготовленных приборов требованиям технической документации или эталона (образца).

Приемные испытания могут быть *сплошными* (сто процентными), когда испытанию подвергают каждый из изготовленных приборов, и *выборочными*, когда дополнительным испытаниям по другим параметрам подвергают отдельные, произвольно выбранные приборы из числа прошедших стопроцентные испытания.

При сплошных испытаниях приборы, не удовлетворяющие установленным требованиям, возвращают без прекращения дальнейших испытаний всех остальных приборов.

Если хотя бы один из приборов, отобранных для выборочных испытаний, не выдержал какой-либо проверки, всю партию возвращают для повторной проверки и исправления.

При *приемо-сдаточных испытаниях* приборы проверяет представитель заказчика. В ряде случаев (например, при необходимости использования сложного поверочного оборудования) приемосдаточные испытания совмещают с приемными, которые проводят при участии представителя заказчика.

*Периодические (контрольные) испытания* приборов проводят : для проверки их на соответствие всем требованиям технических условий. Эти испытания проводят не реже одного раза в год, причем испытаниям подвергают несколько приборов, взятых выборочно из числа прошедших приемо-сдаточные испытания.

*Проверочные испытания* проводят для определения соответствия приборов требованиям технических условий при изменении принципиальной схемы, конструкции или технологии.

Программа проверочных испытаний должна предусматривать проверку тех параметров, на которые могли повлиять изменения схемы, конструкции или технологии.

## *Способы проведения испытаний*

В настоящее время применяются следующие способы проведения испытаний: последовательный, параллельный, последовательно-параллельный и комбинированный.

При *последовательном способе* один и тот же объект испытания последовательно подвергается всем предусмотренным программой видам испытаний.

Важным условием проведения последовательных испытаний является соблюдение определенного порядка воздействия внешних факторов. Иногда предусматривают такую последовательность внешних воздействующих факторов на объект, согласно которой вначале действуют наиболее сильно влияющие на данный объект внешние факторы. Это делается для скорейшего выявления потенциально ненадежных образцов с целью сокращения времени испытаний. Однако при этом теряется большая часть информации о влиянии других видов факторов, которая могла быть получена при их воздействии. Поэтому чаще на практике рекомендуется начинать испытания с воздействия на прибор наименее жестких внешних факторов, при которых воздействие будет наименьшим. Такой способ испытаний позволяет точнее определить причины наблюдаемых отказов и составить более полную картину о наличии в приборе потенциальных дефектов. С другой стороны, если наиболее опасные для объекта внешние воздействующие факторы расположить в конце последовательных испытаний, то значительно увеличивается время их проведения.

При *параллельном способе* проведения испытаний образец подвергается одновременному воздействию различных внешних воздействующих факторов одновременно (параллельно) на нескольких выборках. Такой способ позволяет получить большой объем информации за значительно более короткий промежуток времени, чем последовательный, при минимальном износе испытываемых образцов.

При *последовательно-параллельном способе* все изделия, отобранные для испытаний, разбиваются на несколько групп, которые испытываются параллельно. В каждой из групп испытания проводят последовательным способом.

С целью приближения лабораторных условий испытаний объекта к реальным условиям его эксплуатации все большее распространение получает *комбинированный способ* испытаний, при котором на объект испытания одновременно воздействуют несколько внешних факторов. Так, для имитации условий вибрации объекта в космическом пространстве используют лабораторные испытания на вибрацию при одновременном воздействии на объект температуры и вакуума.

В заключение следует отметить, что многообразие разрабатываемой и выпускаемой аппаратуры не позволяет дать однозначно рекомендации по выбору того или иного способа и порядка приложения внешних воздействующих факторов при лабораторных испытаниях. Но можно с полной уверенностью сказать, что выбор алгоритма испытаний должен проводиться ис-

ходя из результатов воздействий того или иного фактора на конкретный вид объекта испытаний и условий его последующей эксплуатации, чтобы в процессе испытаний механизм отказов приборов усиливался и все потенциально ненадежные образцы были обязательно выявлены.

## 2.2. Механические испытания

### *Испытания на виброустойчивость и вибропрочность*

Испытание *на виброустойчивость* проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах значений, указанных в ТУ, в условиях вибрации в заданном диапазоне частот и ускорения. Испытания проводят под электрической нагрузкой, контролируя в их процессе параметры изделий. Для проверки виброустойчивости выбирают те параметры испытуемых изделий, по наблюдению за которыми можно судить о виброустойчивости (например, уровень виброшумов, искажение выходного сигнала, целостность электрической цепи, нестабильность контактного сопротивления и т.д.).

Испытание *на вибропрочность* проводят с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свои параметры после ее воздействия в пределах значений, указанных в ТУ и программе испытаний (ПИ) на изделия.

Испытание приборов на виброустойчивость и вибропрочность можно проводить следующими методами: фиксированных частот, качающейся частоты, случайной вибрации.

Основным условием, позволяющим выбрать наиболее рациональный метод испытаний, является знание резонансных частот изделия. Например, если резонансная частота превышает верхнюю частоту диапазона испытаний более чем в 1,5 раза, применяется метод испытаний на одной фиксированной частоте. Если резонансные частоты не установлены, применяется метод качающейся частоты. Если испытуемое изделие имеет не менее четырех резонансов в заданном диапазоне частот, применяется метод случайной вибрации.

Если есть необходимость сократить время испытаний при сохранении диапазона частот испытаний, применяется метод ускоренных испытаний, основанный на наличии следующей закономерности влияния вибрационных нагрузок на долговечность изделия:

$$(j_y/j_0)^k = T_0/T_y,$$

где  $j_0$ ,  $j_y$  – амплитуда вибрационного ускорения при обычном и ускоренных испытаниях соответственно;  $T_0$ ,  $T_y$  – продолжительность обычного и ускоренного испытаний;  $k$  – показатель степени, зависящий от особенностей конструкции и материала изделия ( $k = 2... 10$ ).

Наиболее жесткому испытанию соответствует  $k = 2$ , поскольку при таком показателе степени продолжительность испытания будет максимальной.

При увеличении амплитуды ускорения и сокращении продолжительности воздействия вибрации необходимо следить за тем, чтобы механизм отказов испытуемых изделий по мере увеличения значения ускорения оставался неизменным по сравнению с обычными условиями испытаний.

Метод испытаний на *фиксированных частотах вибрации* заключается в последовательном воздействии гармонической вибрации определенной частоты и амплитуды на испытываемую аппаратуру.

В программе испытаний необходимо указывать время выдержки испытуемого изделия в данном режиме. При испытании на виброустойчивость оно должно быть не менее 5 мин, а при испытании на вибропрочность – от 1 до 5 ч при длительном и от 20 до 50 мин – при кратковременном воздействии.

При испытаниях методом *качающейся частоты вибрации* ее плавно изменяют в заданном диапазоне от нижней до верхней и обратно при постоянстве заданных параметров вибрации в течение определенного времени.

В реальных условиях эксплуатации на изделия воздействуют, как правило, не одночастотные синусоидальные колебания, а колебания со сложным спектром частот. Поэтому проводят испытание на воздействие *широкополосной случайной вибрации*. В этом случае реализуется одновременное возбуждение всех резонансов испытуемого изделия, что позволяет выявить их взаимное влияние. Ужесточение условий испытаний за счет одновременного возбуждения резонансных частот сокращает время испытаний по сравнению с методом качающейся частоты.

### ***Испытания на ударную прочность и устойчивость***

Основная задача испытаний на ударные нагрузки – проверка способности изделия выполнять свои функции во время ударного воздействия и после него. Различают два вида испытаний: на ударную прочность и на ударную устойчивость.

Испытание *на ударную прочность* проводят с целью проверки способности изделия противостоять разрушающему действию механических ударов, сохранять свои параметры в пределах, указанных НТД на изделие.

Испытание *на ударную устойчивость* проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции в условиях действия механических ударов. При этом испытываемую аппаратуру подвергают воздействию многократных или одиночных ударов. Характеристики режимов испытаний (пиковое ударное ускорение и число ударов) задаются в соответствии со степенью жесткости испытаний.

Частота следования ударов должна обеспечивать возможность контроля проверяемых параметров. В качестве проверяемых выбирают параметры, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости изделия в целом (например, искажение выходного сигнала, стабильность характеристик функционирования и т.д.). Ударную прочность оценивают по степени целостности конструкции (например, образование трещин, отсутствие контакта и т.д.). Изделия считают выдержавшими испытания, если в процессе и (или)

после испытания они удовлетворяют требованиям стандартов и ТУ на изделия и ПИ для данного вида испытаний.

Испытания на ударные нагрузки проводят на специальных ударных стендах, а в некоторых случаях ударное воздействие воспроизводят на вибростендах. При этом пиковое ударное ускорение и число ударов, а также форму ударного импульса и его длительность назначают в соответствии с ТУ на конкретное изделие.

В зависимости от принципа создания ударного воздействия все ударные стенды разделяют на два основных вида: 1) стенды, действие которых основано на принципе торможения предварительно разгоняемого до требуемой скорости тела; 2) стенды, действие которых основано на принципе разгона тела до требуемой скорости. В практике испытаний первый вид ударных стендов получил наибольшее распространение. Основными узлами такой ударной установки являются: подвижная ударная платформа (стол), тормозное устройство, основание (наковальня), направляющие.

### ***Испытания на воздействие линейных нагрузок***

Испытания на воздействие линейных нагрузок проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции при линейных нагрузках и разрушающем действии этих нагрузок.

Испытания обычно проводят без электрической нагрузки. Это объясняется большими вносимыми погрешностями на контролируемый выходной сигнал при передаче его через токосъемник центрифуги. Если аппаратура испытывается во включенном состоянии, необходимо выбирать такие параметры, по изменению которых можно судить об устойчивости к воздействию линейного ускорения в целом (например, целостность электрической цепи, искажение выходного сигнала и т.д.). Режим программы испытаний определяется значением линейного ускорения. При испытании с ускорением до  $5000 \text{ м/с}^2$  продолжительность испытания – 3 мин в каждом направлении, а при ускорении свыше  $5000 \text{ м/с}^2$  – 1 мин.

Испытания на воздействие линейных ускорений производятся на специальных установках – *центрифугах*, создающих в горизонтальной плоскости радиально направленные ускорения. Центрифуги классифицируются по типу привода, конструкции, грузоподъемности, величине максимального линейного ускорения.

По *типу привода* различают центрифуги с электрическим, гидравлическим и комбинированным приводами. По *конструкции* различают центрифуги с поворотными и неповоротными столами и с изменяющимся радиусом вращения изделия. В зависимости от *грузоподъемности* центрифуги классифицируются на малые (до 10 кг), средние (до 50 кг), тяжелые (до 100 кг), сверхтяжелые (свыше 100 кг). По величине максимально воспроизводимого ускорения центрифуги разделяют на категории: А – до  $250 \text{ м/с}^2$ , Б – до  $500 \text{ м/с}^2$ , В – до  $1000 \text{ м/с}^2$ , Г – до  $2000 \text{ м/с}^2$ , Д – свыше  $2000 \text{ м/с}^2$ .

## *Испытания на воздействие акустического шума*

Испытания проводят с целью определения способности изделий выполнять свои функции, сохраняя параметры в пределах норм, указанных в стандартах и ТУ на изделия и программе испытаний, в условиях воздействия повышенного акустического шума.

В отличие от других видов внешних воздействий у акустических нагрузок есть особенности: широкий спектр частот, изменяющихся от единиц герц до нескольких килогерц; случайный характер изменения этих частот во времени и пространстве; распределенный характер воздействия, зависящий не только от уровня звукового давления, но и от площади изделия. Резонансные явления элементов аппаратуры, возникающие в результате воздействия акустического шума, чаще всего проявляются на частотах 1500...2000 Гц.

Для испытаний изделий на воздействие акустического шума применяют методы: 1) воздействие на изделие *случайного акустического шума*; 2) воздействие *тока меняющейся частоты*.

Режим испытаний указанных методов устанавливается заданием величины звукового давления для соответствующей степени жесткости.

Испытания первым методом проводят путем воздействия акустического шума в диапазоне частот 125...10000 Гц с одновременным воздействием на изделие заданного равномерного звукового давления определенного спектра частот. Продолжительность воздействия звукового давления должна быть 5 мин, если большее время не требуется для контроля и (или) измерения параметров изделий. При испытаниях необходимо обнаруживать у изделий резонансные частоты и проводить контроль параметров изделий на этих частотах. Рекомендуется выбирать параметры, по изменению которых можно судить об устойчивости к воздействию акустического шума изделия в целом (например, искажение выходного сигнала или изменение его значения, целостность электрической цепи, изменение контактного сопротивления и т.д.).

Испытания вторым методом проводят путем воздействия тока меняющейся частоты в том же диапазоне при плавном ее изменении по всему диапазону от низшей к высшей и обратно (один цикл). Испытания проводят в течение 30 мин, если большее время не требуется для контроля параметров изделий. При регистрации параметров изделия определяют их изменения в функции частоты акустического воздействия.

Испытания приборов на воздействие акустического шума проводят на открытом стенде, в закрытых блоках с натурным источником шума и в акустических камерах. На открытом стенде испытывают крупногабаритные изделия. Требуемые уровни нагрузок в данном случае достигаются выбором положения испытываемого прибора относительно источника шума. Испытания в закрытых блоках проводят на более высоких уровнях акустической нагрузки, при этом происходит некоторое искажение звукового поля по сравнению с естественными условиями эксплуатации.

Для испытаний используются реверберационные акустические камеры в виде неправильного пятиугольника с размерами, указанными на рис. 24. Значение  $m$  должно превышать наибольшие габаритные размеры прибора не ме-

нее чем в два раза. В качестве звуковых источников используют сирены высокой мощности или мощные громкоговорители.

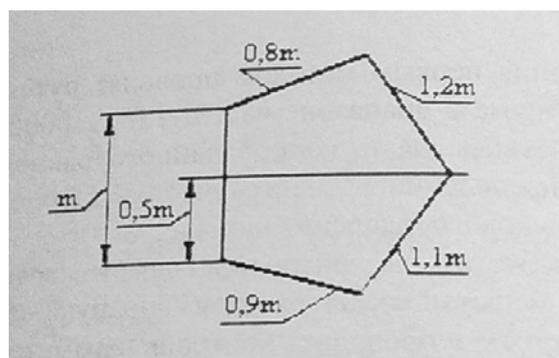


Рис. 24. Размеры камеры для акустических испытаний

## 2.3. Климатические испытания

### Температурные испытания

Испытания на устойчивость к повышенной температуре проводят с целью определения способности прибора сохранять свои параметры и внешний вид в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия верхнего значения температуры.

Различают два метода испытаний приборов на воздействие повышенной температуры:

- 1) испытание под термической нагрузкой;
- 2) испытание под совмещенной термической и электрической нагрузками.

Первому методу испытаний подвергаются нетеплорассеивающие изделия, температура которых в процессе эксплуатации зависит только от температуры окружающей среды, второму – теплорассеивающие приборы, которые в рабочем состоянии нагреваются за счет выделяемой мощности под действием электрической нагрузки.

При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают под нормальной или максимально допустимой для данных изделий электрической нагрузкой, соответствующей верхнему значению температуры внешней среды, устанавливаемой в зависимости от степени жесткости испытаний.

Возможны два способа проведения испытаний теплорассеивающих изделий. При первом способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры воздуха в камере, которая устанавливается равной верхнему значению температуры окружающей среды при эксплуатации (указанной в ТУ). При втором способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры участка (узла) изделия, который имеет наибольшую температуру или является наиболее критичным для работоспособности изделия.

Испытание первым способом возможно, когда объем камеры достаточно велик. Для имитации условий свободного обмена воздуха в камере отсутствует принудительная циркуляция воздуха, или ее охлаждающим действием

можно пренебречь. В остальных случаях испытание теплорассеивающих изделий следует проводить вторым способом. Измерение параметров испытуемых изделий производят после достижения теплового равновесия без извлечения изделий из камеры. Для проведения измерения изделия подключают к наружным коммутационным цепям измерительной системы. Если измерение параметров без извлечения из камеры технически невозможно, то допускается изъятие изделия из камеры для измерения. Однако время измерения не должно превышать 3 мин, если другое значение времени специально не оговорено в ТУ.

Для испытаний на повышенные температуры применяют специальные *камеры тепла*, которые должны обеспечивать в случае необходимости подачу электрической нагрузки и измерение параметров – критериев годности прибора в процессе испытаний.

*Испытание на устойчивость к пониженной температуре* проводят с целью проверки параметров изделий в условиях воздействия низкой температуры внешней среды, а также после пребывания их в этих условиях. Изделия помещают в камеру холода, после чего устанавливают нижнее значение температуры по ТУ.

Время выдержки при заданной температуре выбирают в зависимости от установленной жесткости испытаний из временного ряда значений, приведенных в ТУ. Производятся измерения тех же параметров, что и при испытании на воздействие повышенных температур.

Для проверки работоспособности приборов предусматривается их выдержка под электрической нагрузкой при заданной температуре.

Испытания проводят в *камерах холода*. Температура стенок камеры после достижения температурной стабильности не должна отличаться от температуры испытания более чем на 8%.

*Испытание на циклическое воздействие смены температур* проводят для определения способности изделий противостоять быстрой смене температуры. В процессе этого испытания приборы подвергают воздействию быстрой смены верхнего и нижнего значений температур. Для испытания устанавливают три цикла, если другое число циклов специально не оговорено.

Каждый *цикл* состоит из двух *этапов*. Сначала изделия помещают в камеру холода, а затем в камеру тепла, температуры в которых устанавливают в зависимости от степени жесткости испытания. При заданных температурах изделия выдерживают в течение времени, необходимого для достижения теплового равновесия. Время переноса изделий из камеры тепла в камеру холода или обратно не должно превышать 5 мин. При этом рекомендуется, чтобы время достижения заданного температурного режима в камерах после загрузки изделий также не превышало этого значения.

Во время испытания электрическая нагрузка на изделия не подается, а электрические параметры измеряют до и после испытания, предварительно выдержав изделия в нормальных климатических условиях.

Одним из самых жестких видов климатических испытаний является термоциклирование, которое позволяет выявить скрытые конструктивные дефекты и дефекты в технологии, допущенные при изготовлении изделий.

Оборудование для испытаний изделий на циклическое воздействие температур представляет собой две или три совмещенные камеры, в которых поддерживаются различные температурные режимы. Изделия размещают на специальном транспортном устройстве, которое автоматически перемещает изделие из камеры в камеру.

### *Испытания на влагоустойчивость*

Различают два вида испытаний на влагоустойчивость: длительное и кратковременное. *Длительное* проводится с целью определения способности изделий сохранять свои параметры в условиях и после длительного воздействия влажности. *Кратковременное* проводится с целью оперативного выявления грубых технологических дефектов в серийном производстве и дефектов, которые могли возникнуть в предшествующих испытаниях.

Оба вида испытаний на влагоустойчивость могут проводиться в непрерывном (без конденсации влаги) или циклическом (с конденсацией влаги) режимах. Конкретный метод испытания устанавливается в зависимости от назначения и условий эксплуатации изделий.

В *непрерывном режиме* испытаний не предусматривается конденсации влаги на изделиях, поэтому эти испытания проводят при постоянных значениях температуры и влажности в камере. Изделия помещают в камеру влажности и выдерживают при заданной температуре, указанной в ТУ. Время выдержки изделий при заданной температуре определяется необходимостью достижения изделием теплового равновесия. Затем относительную влажность воздуха в камере повышают до  $95\pm 3\%$  и далее поддерживают ее и температуру постоянными в течение всего времени испытания.

Методика проведения кратковременных испытаний изделий при непрерывном режиме аналогична методике испытаний в циклическом режиме. Продолжительность испытаний составляет 2, 4, 6 или 10 сут и устанавливается в ТУ.

Время выдержки изделий в нормальных условиях после окончания кратковременных испытаний составляет обычно 1...2 ч, в то время как по окончании длительных испытаний это время должно быть не менее 24 ч.

Испытание изделий под электрической нагрузкой предусматривают в том случае, если в условиях эксплуатации у этих изделий при увлажнении под напряжением возможно появление разрушающих действий электролиза или электрохимической коррозии. В виде нагрузки используется напряжение, обеспечивающее минимальное выделение тепла в испытываемых изделиях. В большинстве случаев испытания на влагоустойчивость проводят без электрической нагрузки.

Измерение параметров и другие проверки изделий проводят, как правило, в конце испытания (при циклическом режиме – на последнем цикле, в конце последнего часа выдержки при верхнем значении температуры) без извлечения изделий из камеры влажности.

*Циклический режим* испытаний характеризуется воздействием повышенной влажности при циклическом изменении температуры воздуха в камере. В результате создаются условия для выпадения росы на наружных по-

верхностях приборов (при быстром снижении температуры) и последующего ее испарения (в период повышения температуры), что способствует интенсивному развитию процессов коррозии.

Испытание на влагоустойчивость проводят в специальных *камерах тепла и влаги*. Существуют различные испытательные установки, отличающиеся габаритными размерами, точностью поддержания режима, диапазоном характеристик. Так, камеры, предназначенные для воспроизведения циклического режима испытаний, должны обеспечивать циклическое изменение относительной влажности и температуры в определенных пределах, в то время как камеры, предназначенные для воспроизведения постоянного (непрерывного) режима испытаний, должны осуществлять поддержание режима испытаний в полезном объеме в пределах 3% нормированного значения влажности и  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  нормированного значения температуры.

### ***Испытания на воздействие солнечного излучения***

Испытания на воздействие солнечного излучения проводят с целью проверки сохранения внешнего вида и параметров изделий после воздействия солнечного излучения. Данному виду испытаний подвергаются приборы или применяемые в них конструктивные элементы и покрытия, выполненные из органических материалов, которые не подвергались другим видам испытаний.

Испытания проводят в *камере солнечной радиации*. Испытуемое изделие располагают в камере таким образом, чтобы наиболее уязвимые детали (изготовленные из органических материалов или имеющие органические покрытия) были обращены к источникам излучения. После испытаний делают визуальный осмотр этих деталей (узлов) и контролируют только те параметры приборов, стабильность которых зависит от состояния деталей и узлов, изготовленных из органических материалов или имеющих органические покрытия и подвергающихся непосредственному облучению.

Облучают испытываемую аппаратуру или ее детали (кожухи, крышки, шкалы и т.д.) источником света, излучение которого по спектральному составу и интенсивности близко к солнечному. Спектр ультрафиолетового излучения должен лежать в пределах 280...400 нм.

### ***Испытания на воздействие пыли***

Испытания на воздействие пыли подразделяются на *динамические и статические*. Целью первого вида испытаний является проверка устойчивости изделий к разрушающему (абразивному) воздействию пыли. Второй вид испытаний проводят с целью проверки способности изделий работать в среде с повышенной концентрацией пыли. В обоих случаях изделия помещают в *камеру пыли* и располагают так, чтобы воздействие пыли было наиболее эффективным и соответствовало возможному воздействию пыли при эксплуатации.

Испытания проводят обдуванием изделий в течение 2 ч. Затем вентилятор отключают, и в течение 2 ч происходит оседание пыли без циркуляции

воздуха. При испытании на работоспособность изделия могут находиться в рабочем состоянии, и необходимо предусмотреть измерение их электрических параметров. При испытании на пыленепроницаемость в случае использования флюоресцирующего порошка для выявления пыли, проникающей внутрь изделий, их переносят в затемненное помещение, вскрывают и подвергают ультрафиолетовому облучению.

Изделия считают выдержавшими испытание, если в процессе и (или) после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ТУ на изделия и программе для данного вида испытаний.

В случае проверки устойчивости к абразивному действию пыли изделия считают выдержавшими испытания, если их внешний вид удовлетворяет требованиям, оговоренным в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

В случае проверки пыленепроницаемости браковочным признаком служит наличие пыли, проникшей внутрь изделия.

### ***Испытания на воздействие соляного тумана***

Испытания на воздействие соляного тумана проводят с целью определения коррозионной стойкости изделий в атмосфере, содержащей водные растворы солей.

Изделия помещают в *камеру* и располагают так, чтобы в процессе испытания брызги раствора соли из пульверизатора или аэрозольного аппарата, а также капли с потолка, стен и системы подвесов не попадали на изделия. Температура в камере устанавливается  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ , изделия подвергаются воздействию соляного тумана, создаваемого распылением раствора соли, который приготавливают путем растворения в дистиллированной воде хлористого натрия ( $33 \pm 3$  г/л).

Распыление раствора производят с помощью пульверизатора или центрифуги аэрозольного аппарата в течение 15 мин каждого часа испытания. Общее время испытания составляет 2, 7 или 10 сут и оговаривается в ТУ в зависимости от степени жесткости. Время испытания изделия отсчитывают с момента выхода камеры на испытательный режим. По окончании испытания изделия промывают в дистиллированной воде, если это указано в стандартах, после чего просушивают.

Изделия считают выдержавшими испытание, если они по внешнему виду удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах для данного вида испытаний.

Камера соляного тумана должна обеспечивать надежность испытания в заданном режиме с автоматическим введением раствора соли в объем камеры. Туман, полученный в камере, должен обладать дисперсностью 1...10 мкм (95% капель) и концентрацией воды 2...3 г/м<sup>3</sup>.

### ***Испытания на воздействие атмосферного, статического, гидравлического давлений и на водонепроницаемость***

Испытание на воздействие *пониженного атмосферного давления* проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции в усло-

виях ухудшения теплоотдачи и возможности перегрева.

Испытания на воздействие пониженного атмосферного давления проводят либо при нормальной температуре, либо при верхнем значении температуры для испытываемых изделий, записанных в стандартах.

Испытанию при нормальной температуре подвергаются изделия, нагревающиеся при эксплуатации или не подверженные влиянию пониженного атмосферного давления. Испытанию при верхнем значении температуры подвергаются изделия, для которых нагрев при нагрузке, нормированной для пониженного атмосферного давления, является критическим. В этом случае изделия испытываются под электрической нагрузкой, вид и характер которой оговариваются в ТУ.

Продолжительность испытания, как правило, не превышает 30 мин. В отдельных случаях может устанавливаться длительное, более 2-3 ч, воздействие пониженного атмосферного давления.

Испытание на воздействие *повышенного давления* воздуха или другого газа проводят в барокамерах с целью проверки устойчивости параметров и сохранения внешнего вида изделий в условиях повышенного атмосферного давления.

Целью испытаний на воздействие *статического гидравлического давления* является определение работоспособности аппаратуры в условиях пребывания под водой. Испытания на *водонепроницаемость* проводят с целью проверки сохранения параметров аппаратуры после пребывания ее в воде.

Испытание прибора на воздействие статического гидравлического давления проводят, помещая его в бак с водой, где создается давление, соответствующее предельной глубине погружения, установленной в стандартах и ТУ. Испытание проводят в два этапа: сначала в течение 15 мин аппаратуру выдерживают при давлении на 50% больше давления предельной глубины погружения, затем после снижения давления до нормального снова повышают его до значения, соответствующего уже предельной глубине погружения, и выдерживают аппаратуру в этих условиях в течение 24 ч. По окончании испытаний давление снижают до нормального и, не извлекая прибор из воды, проводят измерение выходных параметров, указанных в ТУ и программе испытания. Изделия считают выдержавшими испытание на воздействие статического гидравлического давления, если в процессе и после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ТУ на изделия и в программе испытания.

Испытание на водонепроницаемость проводят, погружая аппаратуру в нерабочем состоянии на 1 ч в ванну с водой. Глубина погружения от поверхности воды до верхней точки конструкции аппаратуры должна быть 50 см, температура воды  $20 \pm 10^\circ\text{C}$ . Внешний осмотр и измерение параметров аппаратуры проводят после извлечения ее из ванны и удаления воды с поверхности.

## 2.4. Биологические и космические испытания

### *Испытания на биостойкость*

*Испытания на биостойкость* (биоустойчивость) проводят с целью определения способности приборов сохранять в условиях воздействия на них биологических факторов значения показателей в пределах, установленных НТД. В настоящее время ГОСТами регламентируется учет следующих биофакторов: плесневых грибов, насекомых, грызунов и почвенных микроорганизмов. Наибольшие разрушения приборов возникают под действием грибковой плесени.

*Грибостойкостью* называют способность приборов противостоять развитию и разрушающему действию грибковой плесени в среде, зараженной плесневыми грибами. Испытания приборов на грибоустойчивость проводят на образцах, которые не подвергались климатическим и механическим испытаниям. Допускается в качестве образцов использовать изделия, забракованные по электрическим параметрам. Число образцов устанавливается в соответствии с НТД или программой испытания. Для испытаний на грибостойкость выбраны такие виды плесневых грибов, которые широко распространены, имеют быстрый рост и высокую стойкость к фунгицидам (противогрибковым препаратам) и способны наносить наибольший вред приборам. Для испытаний на грибоустойчивость используют следующее оборудование: камеры грибообразования, обеспечивающие температуру нагрева  $29 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительную влажность в рабочем объеме более 90%; эксикаторы; сушильные шкафы; автоклавы; биологические микроскопы; пульверизаторы; пробирки и т.д.

Существует *два метода* испытаний. По первому из них образцы приборов, отобранные для испытаний, тщательно очищают от загрязнений этиловым спиртом. По второму методу выборку изделий делят на две равные части (число изделий в выборке должно быть четным). Для выявления причин поражения изделий грибами подвергают очистке от загрязнений этиловым спиртом только первую группу образцов. Таким образом, первый метод устанавливает, содержат ли изделие и материалы источники питания для развития и роста грибов, второй выявляет наличие фунгицидных свойств и влияние внешних загрязнений на грибоустойчивость приборов.

По окончании испытаний образцы извлекают из камеры и осматривают сначала невооруженным глазом в рассеянном свете при освещенности от 2000 до 3000 лк, а затем при увеличении в 56...60 раз. Оценку грибоустойчивости изделий производят по росту грибов на образцах по шестибалльной системе (табл. 4).

Изделия считают выдержавшими испытание по первому методу, если рост грибов на них не превышает балл 2. Результаты испытания изделий на грибоустойчивость по второму методу оценивают по обеим группам образцов. Результаты испытаний считают положительными, если оценка роста грибов на образцах первой группы не превышает балл 2, а у второй группы – балл 3. Затем составляют протокол испытаний, куда заносят результаты. Грибоустойчивость обозначают буквами ПГ (плесневые грибы) с трехзнач-

ным или двузначным числовым индексом, фиксирующим баллы, полученные при испытаниях по разным методам.

Табл. 4

Характер грибообразования	Баллы
При осмотре под микроскопом рост плесневых грибов не виден	0
При осмотре под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий в виде неветвящихся гиф	1
При осмотре под микроскопом виден мицелий в виде ветвящихся гиф, возможно наличие спор	2
При осмотре невооруженным глазом рост грибов едва виден, но отчетливо виден под микроскопом	3
При осмотре невооруженным глазом отчетливо виден рост грибов, покрывающих менее 25% испытываемой поверхности	4
При осмотре невооруженным глазом отчетливо виден рост грибов, покрывающих более 25% испытываемой поверхности	5

При проведении испытаний требуется соблюдать меры безопасности. Испытания на грибоустойчивость разрешается проводить лицам, прошедшим предварительный медицинский осмотр, обучение и инструктаж по технике безопасности, так как при испытаниях используются условно-патогенные грибы. Спецодежду, оборудование, помещение, все приборы, приспособления и инструменты систематически дезинфицируют.

Образцы по окончании испытаний дезинфицируют в автоклаве при давлении 0,1 МПа и температуре 121°С в течение 1 ч или промывают (протирают) 5%-ным раствором фенола (или формальдегида) или 10%-ным раствором перекиси водорода. Оптические детали протирают спиртом. Недорогие образцы уничтожают.

### ***Испытания на воздействие ультранизких давлений и криогенных температур***

Испытания на устойчивость к воздействию *ультранизких давлений* проводят для определения способности приборов сохранять при ультранизких давлениях свои параметры в пределах, указанных в НТД для изучения и оценки воздействия глубокого вакуума на материалы и элементы приборов, а также для проверки принятых схемных и конструктивно-технологических решений.

Воздействия космического вакуума можно разделить условно на механические, тепло- и электрофизические, а также поверхностные. При этом для тепло- и электрофизических воздействий критичны- концентрации частиц в объеме, а для поверхностных – потоки частиц к поверхностям (или от них). Последние обязательно требуют создания глубокого вакуума.

Для механических воздействий общим условием является перепад давлений  $\Delta p \approx 1,33 \cdot 10^5$  Па и, следовательно, не обязательны испытания в вакууме (например,  $p_1 = 2,66 \cdot 10^5$  Па;  $p_2 = 1,33 \cdot 10^5$  Па;  $\Delta p = p_1 - p_2 = 1,33 \cdot 10^5$  Па).

Для остальных воздействий в качестве общего условия можно рассматривать отсутствие столкновения частиц в объеме.

Материалы, узлы, элементы, а также приборы и космический аппарат в целом подвергаются испытаниям в *вакуумных установках*.

Испытания приборов на воздействие *криогенных температур* проводят с целью оценки устойчивости их параметров при криогенных температурах.

Испытание на воздействие криогенных температур реализуют при помощи криотермовacuумных испытательных установок с многоступенчатой откачной системой.

### ***Испытания на воздействие ионизирующих излучений***

Испытания материалов приборов на воздействие ионизирующих излучений производят с целью проверки работоспособности и сохранения внешнего вида изделий в пределах, установленных в НТД (требования ТЗ и ТУ).

Компоненты приборов, подвергнутые воздействию радиоактивных излучений, характерных для эксплуатационных условий, могут изменять свои параметры. Поскольку радиоактивные излучения, проникая в толщу материала, вызывают в нем ионизацию, они называются *ионизирующими*.

Радиоактивные излучения подразделяются на *корпускулярные и квантовые*. Первые представляют собой потоки быстрых элементарных частиц (нейтронов, протонов, ядер атомов химических элементов, бета-, альфа- и других частиц), вторые – электромагнитные ионизирующие излучения (гамма и рентгеновское).

Для измерения поглощенной дозы радиоактивного излучения применяется специальная единица – грей. Один грей (1 Гр) равен дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия любого ионизирующего излучения 1 Дж.

Количество энергии, излучаемое источником в единицу времени, называется *мощностью* источника излучения. Мощность источника излучения равна произведению выхода элементарных частиц (квантов) источника на их энергию и измеряется в единицах энергии на единицу времени, например, джоуль в секунду (Дж/с) или, что то же самое, ватт (Вт).

В качестве источников радиоактивного излучения в лабораторных условиях применяют ускорители заряженных частиц и ядерные реакторы.

## **2.5. Испытания на соответствие требованиям безопасности**

К средствам измерения предъявляются различные технические требования, в том числе требования безопасности. Приборы должны быть сконструированы так, чтобы в нормальных условиях и при возникновении неисправностей они не представляли опасности для обслуживающего персонала. При этом должны быть обеспечены:

- защита от поражения электрическим током;
- защита от воздействия вредных ионизирующих и СВЧ излучений; отравляющих газов и ультразвукового давления;
- защита от взрыва;

– защита от огня.

Методы испытаний на соответствие требованиям по защите от поражения электрическим током изложены в ГОСТ 26104-89.

По виду защиты от поражения электрическим током приборы с внешним питанием подразделяются на четыре класса защиты:

I – приборы, имеющие, как минимум, рабочую изоляцию и зажим защитного заземления. В приборах, предназначенных для подключения к сети гибким кабелем, этот кабель должен иметь заземляющую жилу. Зажим защитного заземления является частью сетевой вилки.

OI – приборы, имеющие, как минимум, рабочую изоляцию, зажим защитного заземления, кабель без заземляющей жилы и сетевую вилку без контакта защитного заземления.

II – приборы без защитного заземления, имеющие двойную или усиленную изоляцию во всех частях прибора.

III – приборы, не имеющие во внутренних и внешних цепях напряжений более 42 В. При использовании в качестве внешнего источника питания трансформатора или преобразователя, подключаемого к сети, их выходные цепи должны быть электрически изолированы от входных цепей двойной или усиленной изоляцией.

ГОСТ предусматривает следующие виды испытаний на соответствие требованиям электробезопасности:

*1. Проверка доступных для прикосания элементов конструкции.*

Доступные для прикосания элементы конструкции и детали прибора не должны находиться под опасным напряжением. Напряжение между этими частями и землей (или между двумя доступными частями) не должно быть связано с сетью питания и не должно превышать 42 В или, при напряжении более 42 В, ток утечки на землю не должен быть более 0,7 мА (пиковое значение) переменного тока или 2 мА постоянного тока, при этом:

для напряжений до 450 В (пиковое значение) емкость не должна быть более 0,1 мкФ;

для напряжений от 450 В до 15 кВ (пиковое значение) разряд не должен превышать 45 мкКл;

для напряжений более 15 кВ (пиковое значение) энергия разряда не должна быть более 350 мДж.

Для частот выше 1 кГц предельное значение тока утечки определяют как произведение 0,7 мА на частоту в килогерцах, при этом оно не должно превышать 70 мА.

Части, которые становятся доступными для прикосания после снятия защищающих крышек или других съемных частей без применения инструмента, не должны находиться под опасным напряжением.

Части под опасным напряжением должны быть закрыты либо защищены изоляцией.

Примечание. Покрытия из лака, эмали, оксидов, анодированных пленок и заливка компаундами (за исключением самотвердеющих смол) не считаются изоляторами, достаточными для защиты от поражения электрическим то-

ком, поскольку такая изоляция может быть нарушена при растрескивании хрупких покрытия или повреждении пленок и мягких покрытий.

Части, находящиеся под опасным напряжением, не должны становиться доступными для прикасания при замене плавких предохранителей и встроженных источников тока (батарей), при переключении прибора на различные номинальные напряжения или источники тока и т. п., если такие операции проводят без применения инструмента.

Зажимы, на которые изнутри прибора подается опасное напряжение, превышающее 1 кВ, не должны быть доступны для прикасания.

Доступные для прикасания зажимы и гнезда, находящиеся под опасным напряжением менее 1 кВ, должны быть защищены от случайного прикасания (при помощи крышек, соответствующего расположения или монтажа) и иметь обозначение в соответствии с установленными требованиями.

Зажимы, на которые подается напряжение от внутренних конденсаторов, не должны находиться под опасным напряжением через 10 с после отключения питания.

Доступные для прикасания зажимы под опасным напряжением для подсоединения гибких проводов не должны допускать случайного контакта между частями под напряжением и другими токопроводящими частями или между частями под различным напряжением. Доступные зажимы должны быть укреплены и сконструированы таким образом, чтобы их крепление не ослабло при их завинчивании, отвинчивании или при присоединении к ним проводов. Конструкция и расположение этих зажимов должны быть такими, чтобы их присоединение к доступным для прикасания токопроводящим частям, либо отсутствие такового было очевидным.

Измерительные и защитные зажимы заземления, зажимы для головных телефонов не должны находиться под опасным напряжением.

Зажимы защитного заземления должны соответствовать следующим требованиям:

в приборе класса защиты I, подключенном к сети электропитания гибким съемным кабелем, сетевой разъем прибора должен иметь зажим, обеспечивающий связь с защитным проводом;

в приборе, не предназначенном для подсоединения к защитному проводу сети питания, зажим защитного заземления должен быть расположен с зажимами той цепи, для которой предназначена защита;

в остальных случаях зажим защитного заземления должен быть расположен рядом с вводом сети;

соединения, припаиваемые к доступным токопроводящим частям или защитным экранам перед пайкой, должны быть закреплены механически, соединения под винт должны быть закреплены так, чтобы они не ослаблялись;

зажимы защитного заземления цепей электропитания должны быть эквивалентны сетевым зажимам и должны допускать подсоединение проводника, как минимум, того же сечения;

контактные поверхности зажима защитного заземления должны быть металлическими, а винты и другие части должны быть изготовлены из коррозионно-стойкого металла;

зажим защитного заземления не должен ослабляться без помощи инструмента, кроме внешних зажимов защитного заземления для измерительных и управляющих цепей и; приборов класса ОI;

штепсельные зажимы защитного заземления, скомбинированные с другими зажимами и предназначенные для подсоединения вручную, должны быть сконструированы таким образом, чтобы при их соединении подключение к зажиму защитного заземления происходило до любого другого подключения, а рассоединение - после любого другого рассоединения.

Измерительные зажимы заземления должны присоединяться независимо от зажимов защитного заземления.

### *2. Проверка вентиляционных отверстий.*

Вентиляционные отверстия над частями под напряжением должны быть расположены таким образом, чтобы посторонний предмет, если он проник в это отверстие, не мог соприкоснуться с частями, находящимися под опасным напряжением.

*3. Проверка органов управления, отверстий, обеспечивающих доступ к органам регулирования.*

Органы регулирования должны: быть сконструированы и расположены таким образом, чтобы в процессе регулировки при помощи отвертки или другого инструмента, через отверстия, обеспечивающие доступ к этим органам регулировки, инструмент не мог оказаться под опасным напряжением.

Оси ручек управления и настройки: приборов не должны находиться под опасным напряжением.

### *4. Проверка комплектующих элементов прибора.*

Кнопки, ручки и т. п., при помощи которых управляют работой деталей, находящихся под опасным напряжением, должны быть изготовлены из изоляционного материала, если они не связаны с этими деталями изолирующими стержнями или стойками.

Сетевые выключатели тумблерного типа с металлическими ручками должны соответствовать требованиям класса защиты II независимо от класса прибора, в котором их используют.

Приборы с потребляемой мощностью 25 ВА и более должны иметь выключатель сетевого питания. Если имеется несколько выключателей питания, один из них должен быть основным..

Выключатель сетевого питания не обязателен для стационарных приборов, если в системе питания предусмотрены средства для отключения;

для вспомогательных устройств в приборе, таких как термостаты, устройства подзарядки батарей и т. п., если требуется их непрерывная работа; если прибор предназначен для непрерывной работы.

Выключатель сетевого питания или основной выключатель должен отключать все части прибора от всех полюсов сети. При этом не должен отключаться провод защитного заземления. В стационарных приборах с питанием от трехфазной сети не должен отключаться нейтральный провод, если это вызывает нарушение защиты от поражения электрическим током.

Элементы подавления помех и предохранители допускается оставлять неотключенными.

Выключатели сетевого питания или основные выключатели-должны соответствовать мощности, потребляемой от сети электропитания.

Блокировочные выключатели: должны обеспечивать надежное отключение частей прибора, находящихся под опасным напряжением, от источника тока раньше, чем они станут доступными для прикосновения.

Приборы с питанием от сети должны иметь на входе сети питания прибора плавкие предохранители или прерыватели для ограничения входного тока, срабатывание любого предохранителя не должно нарушать защитного заземления.

Стационарные приборы могут не иметь встроенных плавких предохранителей. В этом случае в эксплуатационной документации, поставляемой с прибором, указываются номиналы и типы предохранителей, которые должны быть установлены во внешней цепи питания.

Приборы с встроенными химическими источниками тока должны быть сконструированы таким образом, чтобы было исключено растекание электролита и не было опасности накопления воспламеняющихся газов.

Соединения под винт, обеспечивающие контактное давление и винтовой крепеж, которые в течение срока эксплуатации прибора неоднократно ослабляются и закрепляются (винты зажимов, винты для закрепления крышек, ручек, кнопок и т. п.) должны быть достаточно прочными и завинчиваться в металлическую гайку или прокладку.

Сетевые электрические соединители для подключения прибора к однофазной сети электропитания, а также сетевые розетки, предназначенные для подачи электропитания на другие приборы, должны соответствовать требованиям ГОСТ 7396.1.

Вилки шнуров питания прибора класса защиты III и приборов с питанием от специальных источников тока не должны подходить к штепсельной розетке сети.

В приборах класса защиты I жила защитного заземления сетевых шнуров должна быть желто-зеленого цвета.

##### *5. Проверка сетевых шнуров и жгутов.*

Сечение проводников сетевых шнуров должно быть таким, чтобы при коротком замыкании на конце шнура прибора защитные устройства электрической установки сработали до того, как перегрев шнура превысит допустимое значение. При использовании шнуров сечением менее  $0,75 \text{ мм}^2$  в эксплуатационной документации, поставляемой с прибором, указываются предохранители, которые должны быть установлены: во внешней цепи питания.

Изоляция всех проводников шнуров и жгутов внутри прибора, содержащих проводники под опасным напряжением, и проводников, соединенных с доступными для прикосновения токопроводящими частями, должна быть рассчитана на наибольшее напряжение.

Проводники внешних шнуров в точках подсоединения не должны подвергаться натяжению и перекручиванию. Если повреждение изоляции шнура или проводника приводит к попаданию доступных для прикосновения частей под опасное напряжение, то элементы конструкции, предотвращающие натяжение и перекручивание проводников шнура, должны быть изготовлены из

изоляционного материала. Конструкцией крепления шнура должна быть исключена возможность его введения внутрь прибора.

При креплении шнуров внутри прибора проводники должны легко вставляться и подсоединяться без образования перегибов и повреждения шнура при его протаскивании и креплении.

Защитный проводник желто-зеленого цвета, если он имеется в шнуре, должен быть правильно подсоединен к зажиму защитного заземления и не должен применяться для других целей. Подсоединение его должно быть таким, чтобы при случайном обрыве шнура защитный проводник обрывался после всех других проводников.

#### *6. Проверка электродвигателей.*

Электродвигатели, имеющиеся в приборе, должны соответствовать следующим требованиям:

конструкция электродвигателей и элементов их крепления должна исключать возможность повреждения изоляции, нарушения контактов и соединений при нагреве и вибрации, вызываемых работой двигателя;

электродвигатели должны иметь надежный запуск при напряжениях питания 0,9 – 1,1 номинального напряжения;

конструкция электродвигателей и способ их установки должны исключать возможность попадания на проводку, обмотки, коллекторы, контактные кольца и т. п. смазочного материала и других веществ, разрушающих изоляцию;

движущиеся детали должны быть закрыты или расположены таким образом, чтобы исключить возможность травмирования;

защитные ограждения должны быть достаточной прочности и не должны сниматься без помощи инструмента;

конструкция электродвигателей должна предотвращать перегрев выше допустимого, даже если электродвигатель застопорится в процессе эксплуатации или не запустится. В противном случае он должен быть защищен при помощи реле максимального тока или термореле.

#### *7. Проверка конструкции электрических цепей прибора.*

Цепи сети, включая нулевой вывод, не должны быть соединены с доступными токопроводящими частями. Измерительные и управляющие цепи, предназначенные для подсоединения к опасным плавающим напряжениям, не должны быть соединены с доступными для прикасания токопроводящими частями прибора. Измерительные и управляющие цепи, соединенные с доступными для прикасания токопроводящими частями или недостаточно изолированными от них, а также изолированные выходные цепи с напряжением до 42 В должны быть изолированы от цепей сети или других цепей с опасным напряжением воздушными зазорами, путями утечки и компонентами по II классу защиты или воздушными зазорами, путями утечки и компонентами по I классу защиты и защитным экраном, соединенным с защитным заземлением. Внутренние цепи, имеющие части под опасным напряжением, должны быть изолированы от частей доступных, для прикасания в соответствии с требованиями классов защиты I или II и должны быть расположены так, что-

бы случайное ослабление проводов, винтов не явилось причиной появления опасного напряжения на частях доступных для прикосновения.

Конструкция съемных частей, которые определяют воздушные зазоры и пути утечки, не должна допускать их неправильную установку. В противном случае эти части должны быть обозначены в соответствии с требованиями, и в документации, поставляемой с прибором, должен быть указан порядок их установки.

Доступные для прикосновения токопроводящие части приборов класса защиты I, которые в случае неисправности прибора могут оказаться под опасным напряжением, должны быть электрически соединены с зажимом защитного заземления. Сопротивление между зажимом защитного заземления и доступными для прикосновения токопроводящими частями не должно превышать 0,5 Ом.

Не допускается использовать в качестве провода защитного заземления экранирующую оплетку.

Защиту от поражения электрическим током в приборах класса защиты I допускается осуществлять при помощи защитного экрана, который должен отделять цепи сети и эквивалентные им цепи от всех других цепей. Экран должен быть электрически соединен с зажимом защитного заземления. Сопротивление между ними не должно превышать 0,5 Ом.

Защитный экран может быть соединен с доступными для прикосновения токопроводящими частями.

Если соединение доступных токопроводящих частей или защитного экрана с зажимом защитного заземления осуществляется проводником, то этот проводник должен быть желто-зеленого цвета.

Конструкция приборов класса защиты II должна иметь двойную или усиленную изоляцию.

Токопроводящие части приборов класса защиты II, изолированные от частей под опасным напряжением только рабочей изоляцией, считаются частями под опасным напряжением.

Приборы класса защиты II не должны иметь зажима защитного заземления, при этом допускается наличие рабочих зажимов заземления.

Корпус прибора, выполненный из изоляционного материала, может образовывать всю или часть дополнительной или усиленной изоляции.

Приборы класса защиты III не должны иметь зажима защитного заземления.

Воздушные зазоры и пути утечки между элементами сетевых цепей и эквивалентных им цепей с одной стороны и доступными для прикосновения токопроводящими частями или частями, подсоединенными к ним, или испытательным пальцем, имеющим непосредственный контакт с любым доступным для прикосновения участком нетокопроводящей части с другой стороны, должны соответствовать приведенным в табл. 1.

Воздушные зазоры и пути утечки для сетевых цепей должны соответствовать значениям, указанным в табл. 1 после того, как к любой неизолированной детали или проводу будет приложена сила 2 Н.

Воздушные зазоры и пути утечки для рабочей и дополнительной изоляции (когда их учитывают отдельно) для приборов класса защиты II, а также пути утечки и зазоры между элементами цепей сети или цепей, им эквивалентных, и элементами других цепей приборов класса защиты I и II, должны соответствовать приведенным в табл. 5 для приборов класса защиты I.

Воздушные зазоры и пути утечки между частями непосредственно подключенными к питанию от сети и к которым приложено напряжение сети должны соответствовать приведенным в табл. 5.

Таблица 5

Номинальное напряжение цепи, В		Пути утечки и воздушные зазоры, мм, не менее			
		Класс защиты I		Класс защиты II	
постоянное или синусоидальное переменное (среднеквадратическое значение)	несинусоидальное переменное или смешанное (пиковое значение)	Воздушный зазор	Путь утечки	Воздушный зазор	Путь утечки
		До 24	До 34	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)
Св. 24 » 60	Св. 34 » 85	2,0 (1,0)	2,0 (1,0)	3,0 (2,0)	3,0 (2,0)
» 60 » 130	» 85 » 184	2,5 (1,5)	2,5 (1,5)	3,5 (2,5)	3,5 (2,5)
» 130 » 250	» 184 » 354	3,0 (2,0)	3,0 (2,0)	4,0 (3,0)	4,0 (3,0)
» 250 » 450	» 354 » 630	3,5	4,5	5,0	7,0
» 450 » 660	» 630 » 933	4,0	6,0	6,0	9,0
» 660 » 1000	» 933 » 1400	5,5	9,0	8,0	13,0
» 1000 » 1500	» 1400 » 2100	10,0	12,0	15,0	18,0
» 1900 » 2000	» 2100 » 2800	12,0	14,0	18,0	21,0
» 2000 » 2500	» 2800 » 3600	14,0	15,5	20,0	23,0

Примечание. Значения, указанные в скобках, относятся к миниатюрным компонентам (печатным схемам, микромодулям и т. п.) и деталям, для которых конструктивно невозможно обеспечить большие расстояния.

Примечания:

1. Пути утечки и воздушные зазоры указаны для случая, когда разъемы и соединители находятся в рабочем положении.

2. Пути утечки и воздушные зазоры являются минимальными фактическими расстояниями с учетом допусков в компонентах и монтаже.

#### 8. Проверка изоляции после выдержки прибора в камере влажности в течение 48 часов.

Сопrotивление изоляции для приборов класса защиты I и II между закороченными цепями сети или эквивалентными им цепями, изолированными от корпуса, с одной стороны, и другими цепями, доступными для прикасания извне и корпусом прибора с другой стороны, при рабочем напряжении до 500 В должно быть, МОм, не менее:

2 — для основной изоляции приборов;

5 — для дополнительной изоляции;

7 — для усиленной изоляции, а также для двойной изоляции, при невозможности проведения испытания ее составных частей;

для цепей при рабочем напряжении свыше 500 В значение сопротивления изоляции должно быть увеличено в  $U_{ном}/500$  раз, где  $U_{ном}$  — номинальное напряжение.

Сопротивление изоляции между другими цепями приборов класса защиты I и II, цепями приборов класса защиты III, изолированными от корпуса, с одной стороны, и корпусом прибора с другой стороны, при напряжении до 500 В должно быть не менее 1 МОм, для цепей при рабочем напряжении свыше 500 В значение сопротивления должно быть увеличено в  $U_{ном}/500$  раз.

Изоляция токоведущих цепей, изолированных от корпуса, должна выдерживать без пробоя и перекрытия испытательное напряжение в соответствии с табл. 6.

Табл. 6

Испытываемая изоляция	Номинальное напряжение, В		Испытательное напряжение (среднеквадратическое значение), кВ
	постоянное или синусоидальное переменное (среднеквадратическое значение)	несинусоидальное переменное или смешанное (пиковое значение)	
1. Между цепями сети и цепями, им эквивалентными			0,5
2. Между цепями сети, им эквивалентными, и корпусом прибора класса защиты I	До 60 Св. 60 » 130 » 130 » 250 » 250 » 660 » 660 » 1000	До 85 Св. 85 » 184 » 184 » 354 » 354 » 933 » 933 » 1400	1,0 1,5 2,0 3,0 4,0
3. Между цепями сети, им эквивалентными, и защитным экраном	» 1000 » 1500 » 1500 » 2000	» 1400 » 2100 » 2100 » 2800	5,0
4. Рабочая или дополнительная изоляция, когда ее испытывают отдельно	Св.2000	Св.2800	Ближайшее целое число киловольт больше значения $2U_{ном}+1$ кВ ,
5. Между цепями сети, им эквивалентными, и корпусом прибора класса защиты II	До 60 Св. 60 » 130 » 130 » 250 » 250 » 660 » 660 » 1000	До 85 Св. 85 » 184 » 184 » 354 » 354 » 933 » 933 » 1400	0,75 1,50 3,00 4,00 6,00
6. Между входными и выходными зажимами источников тока, заменяющих батарею	» 1000 » 1500 » 1500 » 2000 Св.2000	» 1400 » 2100 » 2100 » 2800 Св.2800	8,00 10,00 $2(2U_{ном}+1)$ кВ)
7. Изоляция между другими цепями приборов класса защиты I или II и корпусом*			$2U_{ном}+200$ В или 500 В в зависимости от того, что больше
8. Изоляция между цепями приборов класса защиты III и корпусом**			500 В

\* В процессе испытания электрической прочности изоляции все другие цепи соединяют вместе, во время испытаний по пп. 1 – 6 они также соединены с корпусом прибора.

\*\* В процессе этого испытания все цепи соединяют вместе.

### 9. Проверка токов утечки цепей питания.

Значение тока утечки между каждым полюсом сети электропитания и всеми доступными для прикосания токопроводящими частями (включая измерительные зажимы заземления), соединенными вместе, не должно превышать значений, приведенных в табл. 7.

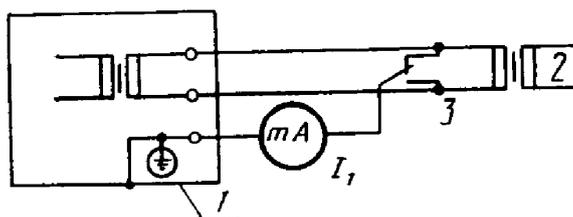
Табл. 7

Тип прибора	Ток утечки, мА	
	переменный	постоянный
Стационарные приборы класса защиты I, 0I	5	5
Переносные приборы класса защиты I	5	5
Переносные приборы класса защиты 0I	0,7	2
Переносные приборы класса защиты I, предназначенные для агрегатирования	0,7	2
Приборы класса защиты II	0,7	2

Примечание. Для переменного тока приведено пиковое значение тока утечки. Ток утечки для приборов класса защиты III не нормируют.

Для измерения тока утечки прибор включают в сеть через разделительный трансформатор (рис. 25).

Измерение тока утечки приборов класса защиты I



1 — доступные для прикосания токопроводящие части; 2 — сеть электропитания; 3 — переключатель измерений

Рис. 25

10. Испытания в условиях неисправностей, которые последовательно создают в приборах.

Литература: [1, 5, 9]

## РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРОВ

Под *эксплуатацией* приборов понимается комплекс мероприятий по поддержанию их работоспособности для эффективного применения по назначению за все время от изготовления до списания. Эксплуатация предполагает активный процесс управления состоянием приборов в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Высокое качество эксплуатации приборов достигается:

1) глубокими знаниями и выполнением обслуживающим персоналом правил применения и технического обслуживания, установленных в нормативно-технических документах по метрологическому обеспечению и эксплуатационной документации на используемые приборы;

2) правильной организацией технического обслуживания и качественным его проведением;

3) своевременным представлением на поверку и ремонт;

4) правильной организацией и соблюдением правил хранения;

5) правильным ведением учетной и эксплуатационной документации;

6) своевременным и правильным проведением рекламационных работ,

7) своевременным проведением категорирования и списания;

8) систематическим контролем правильной эксплуатации и своевременным устранением выявленных недостатков.

Основой поддержания приборов в исправном состоянии и постоянной готовности к применению по назначению является *техническое обслуживание* которое предназначено для предупреждения и устранения отказов и неисправностей при использовании приборов, их хранении и транспортировании. Периодичность, объем и порядок проведения технического обслуживания приборов, применяемых автономно, определяется эксплуатационной документацией на эти приборы, а приборов, встроенных в технические устройства, – эксплуатационной документацией на эти устройства.

Различают техническое обслуживание по установленному регламенту или в соответствии с текущим состоянием. В зависимости от объема работ техническое обслуживание по регламенту может подразделяться на ежедневное, еженедельное, ежемесячное, полугодовое, годовое. Ежедневное техническое обслуживание осуществляется только для применяемых в данный день приборов. При проведении технического обслуживания не допускается нарушение пломб, оттисков клейм, если это не предусмотрено эксплуатационными документами.

Все неисправности приборов, выявленные в процессе технического обслуживания, должны быть устранены. Запрещается выполнять последующие операции до устранения обнаруженных неисправностей. Приборы с неисправностями бракуются и направляются в ремонт.

Для поддержания приборов в исправном состоянии в процессе эксплуатации осуществляется их *периодическая поверка*. Эта поверка проводится через определенные межповерочные интервалы, установленные для обеспечения исправности приборов на период между поверками.

Для приборов, подлежащих обязательной государственной поверке, межповерочные интервалы устанавливаются непосредственно Госстандартом или органами государственной метрологической службы. Для приборов, подлежащих ведомственной поверке, периодичность поверки устанавливается главными метрологами или руководителями ведомственных метрологических служб предприятий, на которых возложены обязанности главных метрологов.

Длительность межповерочных интервалов выбирается в зависимости от фактической надежности приборов, условий эксплуатации, интенсивности их использования, а также от значимости для потребителя результатов измерений. В настоящее время при установлении длительности межповерочного интервала используются, в основном, три подхода: экономический, технико-эксплуатационный и смешанный.

При *экономическом подходе* длительность межповерочного интервала определяется из условий минимизации экономических затрат, связанных с обслуживанием и применением неисправных приборов. Этот подход может быть использован тогда, когда без особых затруднений можно получить сведения о затратах, обусловленных применением неработоспособных приборов.

Наибольшее распространение получил *технико-эксплуатационный* подход, который основан на задании и обеспечении допустимого значения показателя состояния прибора.

*Смешанный подход* к назначению длительности межповерочного интервала заключается в использовании результатов оценки межповерочных интервалов, полученных на основании экономического и технико-эксплуатационного подходов.

В процессе эксплуатации приборы подвергаются *транспортированию*, что объясняется необходимостью их периодической поверки, ремонта, а также сменой места применения. Встроенные приборы транспортируются вместе с техническими устройствами. Транспортирование приборов сопряжено с воздействием на них многих внешних факторов, характеристики которых иногда выходят за пределы рабочих условий эксплуатации. Таковыми в первую очередь являются удары, вибрации, повышенная влажность, пыль, пониженное атмосферное давление и др. Их воздействие может в значительной степени снизить надежность и даже привести к потере работоспособности прибора. Чтобы предотвратить нежелательные последствия транспортирования, применяется ряд мер по обеспечению сохранности приборов.

Для транспортирования приборов применяется штатная упаковка, надежно защищающая от проникновения пыли, влаги, ударов, перемещений и тряски. При ее отсутствии используется другая тара, обеспечивающая сохранность приборов. При транспортировании образцовых приборов применяются дополнительные меры, обеспечивающие их сохранность, например, специальные транспортировочные ящики, имеющие внутри амортизаторы. Зазоры между ящиками плотно заполняются стружкой, бумагой или другим амортизирующим материалом. При транспортировании самолетом приборы, как правило, размещаются в герметизированных отсеках.

*Хранение* приборов является одной из задач эксплуатации, заключающейся в том, чтобы приборы, находящиеся длительные сроки в нерабочем состоянии, поддерживались в исправном состоянии. Хранение приборов в исправном состоянии достигается: подготовкой к хранению (с применением установленных средств и методов консервации); наличием помещений, отвечающих требованиям обеспечения нормальных условий хранения; правильным размещением приборов по местам хранения; проведением технического обслуживания.

На хранение ставятся исправные, поверенные и полностью укомплектованные эксплуатационной документацией и одиночными комплектами ЗИП приборы. Консервации подлежат изделия, для которых она предусматривается эксплуатационными документами.

Приборы хранятся в отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от 10 до 35 °С и относительной влажности не более 80%, которые соответствуют нормальным условиям хранения. В течение гарантийного срока допускается хранение приборов в упаковке предприятия-изготовителя при температуре от 1 до 40°С и относительной влажности до 80%. При этом суточные колебания температуры не должны превышать 5 С. Для обеспечения этого режима температура и влажность в помещениях постоянно контролируются.

Приборы хранятся отдельно от заполненных электролитом аккумуляторов, кислот, щелочей и материалов, выделяющих химически активные пары и газы: продуктов питания и веществ, подверженных гниению или выделяющих влагу; легковоспламеняющихся жидкостей, горючих материалов. Поступившие на длительное хранение приборы освобождаются от транспортной тары.

Для хранения все приборы следует группировать по типам и классам точности. Приборы с постоянными магнитами или с намагниченными элементами нельзя располагать на стальных стеллажах и вблизи массивных железных и стальных предметов, а также хранить вместе с другими типами электроизмерительных приборов. Электроизмерительные приборы хранятся заарретированными. В приборах магнитоэлектрической системы замыкаются входные клеммы.

Источники питания (сухие элементы, батареи) извлекают из приборов, заворачивают в пергаментную бумагу или водонепроницаемую пленку и хранят совместно с приборами. Аккумуляторы, входящие в комплект приборов, за исключением неформованных серебряно-цинковых (не залитых электролитом), хранятся в специальных помещениях.

Особенности хранения отдельных типов приборов излагаются в инструкциях по их эксплуатации.

Приборы во время хранения подвергаются осмотрам и техническому обслуживанию, которое планируется с учетом установленных сроков поверки и данных, полученных при осмотрах. Обслуживание проводится по истечении сроков поверки; при нарушении поверительного клейма или утере документов, подтверждающих проведение поверки; нарушении условий хранения и в

других случаях, когда возникает сомнение в исправности хранимых приборов.

Каждый находящийся в эксплуатации прибор в зависимости от соответствия его свойств (значений, характеристик и параметров) предъявляемым требованиям может быть оценен как пригодный, непригодный, готовый или не готовый к использованию по назначению. Такое заключение принимается на основании информации о свойствах, которые подвержены изменениям в процессе эксплуатации приборов и совокупность которых определяет их техническое состояние.

Важным элементом оценки технического состояния прибора является его *категорирование*, основанное на самой общей оценке степени пригодности к использованию по назначению.

*Категория прибора* – это условная характеристика, определяемая в зависимости от технического состояния и израсходования ресурса.

Различают четыре категории приборов:

- 1) новые, не бывшие в использовании и с неистекшими сроками гарантии;
- 2) технически исправные и годные к применению, бывшие в использовании или с истекшими сроками гарантии;
- 3) неисправные, требующие ремонта;
- 4) неисправные, ремонт которых невозможен или нецелесообразен.

Использоваться по назначению могут приборы только первой и второй категорий. Приборы третьей категории ремонтируются в соответствующих ремонтных органах в зависимости от их технического состояния. Приборы четвертой категории списываются или переводятся в учебные.

Основанием для перевода приборов из одной категории в другую является: истечение срока гарантии; начало использования по назначению; заключение соответствующего метрологического или ремонтного органа о возможности дальнейшего использования; наличие отказов, для устранения которых необходимо проведение ремонта. Изменение категории оформляется соответствующими документами.

Истечение установленных сроков эксплуатации или выработка ресурса не являются основанием для перевода прибора в четвертую категорию, если он по своему техническому состоянию пригоден для дальнейшего использования. В зависимости от состояния специальная комиссия может назначить дополнительный срок службы. При выходе из строя сменных элементов, предохранителей и др., а также при проведении поверки, регулировки или текущего ремонта в метрологических органах категория прибора не изменяется.

Пригодность прибора к эксплуатации определяется техническим состоянием, экономическими соображениями и моральным износом. Приборы *подлежат списанию* при достижении ими предельного состояния, когда невозможно или по экономическим соображениям нецелесообразно восстановление их работоспособности, а также при моральном устаревании. Если в ремонтном органе установлена невозможность восстановления прибора, он

списывается установленным порядком и используется для восстановления других.

Для обеспечения требуемого качества приборов целесообразно проверить их работоспособность в реальных условиях эксплуатации и совместимость с объектом измерения. Особенно это важно для вновь создаваемых приборов при внедрении новых схемно-конструктивных решений. Отсутствие в эксплуатации приборов-аналогов позволяет считать такую проверку обязательной. Эта задача решается при их *опытной эксплуатации* (ОЭ).

Опытная эксплуатация организуется на местах эксплуатации приборов по определенной программе. При этом наряду с использованием приборов по прямому назначению детально исследуется характер изменения их технического состояния со временем, повышается интенсивность использования приборов для быстрее выявления имеющихся недостатков, собираются сведения для оценки тех показателей качества, определение которых затруднено при проектировании и в процессе испытаний.

По результатам проведения ОЭ приборов производится:

- 1) оценка степени изменения нормируемых метрологических характеристик во времени;
- 2) оценка количественных значений показателей надежности;
- 3) выявление характерных неисправностей и конструктивных недостатков;
- 4) оценка ремонтпригодности;
- 5) оценка эргономических характеристик;
- 6) определение особенностей метрологического обеспечения;
- 7) оценка качества эксплуатационной и ремонтной документации;
- 8) определение требуемой квалификации обслуживающего персонала.

Полученные данные используются при разработке рекомендаций и предложений по доработке (модернизации) конструкции приборов, установлению рационального объема и периодичности поверки, повышению уровня ремонтпригодности и оптимизации состава ЗИП, корректировке эксплуатационной и ремонтной документации, подготовке обслуживающего персонала для работы с приборами.

Для отработки приборов к началу серийного производства или на начальном его этапе ОЭ целесообразно проводить на опытных образцах и образцах установочной серии. При планировании значительных объемов производства приборов возможна ОЭ серийно выпускаемых средств измерений. В то же время в связи с наблюдаемым быстрым моральным износом приборов (после 5...8 лет эксплуатации) продолжительность ОЭ, как правило, не должна превышать двух лет.

*Планирование ОЭ* заключается в выборе номенклатуры приборов, определении мест эксплуатации, установлении объемов и сроков ее проведения.

Практика показала целесообразность проведения ОЭ на образцах установочной серии практически по всей номенклатуре вновь разрабатываемых приборов. Исключение могут составлять приборы, не претерпевшие существенных схемно-конструктивных изменений по сравнению с эксплуатируемыми в течение длительного времени приборами-аналогами.

В ряде случаев оправданна организация ОЭ уже длительное время выпускаемых приборов. Это имеет место в том случае, когда по каким-либо причинам не была произведена ОЭ образцов установочной серии или целесообразно более детальное исследование их качества, обусловленное тем, что данные приборы в процессе производства претерпели существенную модернизацию.

Для проверки выполнения во время ОЭ требований к метрологической надежности с приемлемой достоверностью необходима организация наблюдения за достаточно большим количеством приборов. Объем выборки можно сократить, используя априорную информацию о надежности приборов.

Для повышения эффективности ОЭ приборы целесообразно размещать в различных климатических зонах, добиваться повышенной интенсивности их использования в наиболее тяжелых, но допустимых условиях эксплуатации. При определении мест проведения ОЭ необходимо также учитывать возможности оперативного проведения поверочных и ремонтных работ.

*Проведение ОЭ* заключается в использовании приборов по прямому назначению в соответствии с инструкцией по эксплуатации и сборе при этом сведений об их техническом состоянии и приспособленности к условиям эксплуатации.

Наиболее приемлемым путем сбора информации по результатам ОЭ является ведение журнала.

Первичные сведения о значении метрологических характеристик заносятся в журналы ОЭ на заводах-изготовителях по результатам приемосдаточных испытаний образцов из установочной серии или серийно выпускаемых. На местах эксплуатации в журнале фиксируются наработка приборов, условия эксплуатации, характер использования, внешние проявления отказов и условия, при которых они возникли. В метрологических органах в журнал ОЭ заносятся результаты поверки и измеренные значения метрологических характеристик. В ремонтных органах отражаются сведения об отказавших элементах, установленные или предполагаемые причины отказов, характер проведенного ремонта и время, затраченное на отыскание и устранение неисправности.

Наряду с этим для оценки приспособленности приборов к условиям эксплуатации и ремонта в журнале ОЭ целесообразно предусмотреть опросную форму для заполнения на местах эксплуатации, поверки и ремонта. По этой форме собираются сведения, характеризующие работоспособность и удобство применения приборов при внешних воздействиях, соответствующих условиям эксплуатации, удобство транспортирования к месту эксплуатации, подсоединения к объекту измерений, пользования органами управления и отсчетными устройствами, регулировки, доступа к узлам, блокам и элементам при проведении ремонта, а также достаточность ЗИП и нормативно-технической документации для работы, проведения поверки и осуществления ремонта средств измерений. Кроме того, в указанную форму заносятся предложения по улучшению качества приборов.

*Анализ результатов ОЭ* заключается в оценке показателей качества приборов и проверке выполнения требований ТУ. Состав информации по ре-

зультатам ОЭ можно использовать для оценки следующих показателей качества приборов:

1) надежности, т.е. безотказности (в том числе по метрологическим характеристикам) и ремонтпригодности;

2) назначения, т.е. основной погрешности, вариации показаний, диапазона измерений, длительности межповерочного интервала;

3) эргономических показателей и показателей, характеризующих приспособленность приборов к условиям эксплуатации и ремонта: стойкости к внешним воздействиям в реальных условиях их эксплуатации; удобства транспортирования к месту эксплуатации, подсоединения к объекту измерений, пользования органами управления и отсчетными устройствами, использования средств измерений в тяжелых условиях эксплуатации; защищенности от случайных включений и перегрузок; защищенности оператора от вредных воздействий самого прибора; оптимальности числа поверяемых параметров; достаточности автоматизации процесса измерений и поверки; удобства доступа к узлам, блокам и элементам приборов при проведении ремонта, регулировки; достаточности маркировки узлов, блоков, а также ЗИП, НТД для эксплуатации, поверки и ремонта.

Широкий диапазон условий и режимов эксплуатации приборов приводит к значительной дисперсии скорости потери ими работоспособности. Поэтому весьма важно иметь методы и средства для оценки технического состояния прибора: определение степени его удаленности от предельного состояния, выявление причин нарушения работоспособности, установление вида и места возникновения повреждений и т.п.

Эти задачи решаются методами диагностирования, применение которых, особенно для сложных систем, позволяет получить большой экономический эффект за счет более полного использования потенциальных возможностей прибора и учета конкретных его свойств и условий эксплуатации.

*Система диагностирования*, которая включает объект и применяемые для этой цели средства, относится, по существу, к системам контроля. Однако специфика технической диагностики заключается в направленности ее методов на определение состояния изделий, находящихся в эксплуатации, с выявлением необходимости восстановления утраченной работоспособности.

Это накладывает отпечаток на методы и средства диагностики, которые должны: быть удобными для применения в условиях эксплуатации; обеспечивать осуществление процесса в минимальное время; обладать большой точностью и достоверностью показаний, особенно при высоких требованиях к надежности изделий; применять, в основном, методы контроля без разборки, а в отдельных случаях – и без нарушения работы механизма; быть экономически целесообразными.

Результаты диагностирования могут быть использованы для прогнозирования надежности объекта и для принятия решений о проведении ремонта или ТО. Объектом технического диагностирования может быть изделие в целом или его составные части. Однако в большинстве случаев для сложных приборов контроль одного или нескольких элементов малоэффективен, так как остается неизвестным состояние остальных его частей.

Для этой цели, особенно для объектов с высокими требованиями к надежности, создаются сложные автоматизированные системы диагностики, которые при помощи датчиков измеряют большое число параметров приборов, обрабатывают эти показания и делают заключение о работоспособности объекта.

Прибор должен быть приспособлен для нужд диагностики: иметь встроенные приборы, оценивающие его параметры, или периодически подключаться к специальному устройству, осуществляющему контроль основных параметров прибора и дающему задние о его состоянии.

Для каждого изделия имеется большое число *диагностических признаков (параметров)*, по которым можно судить о его техническом состоянии. По этим параметрам и признакам можно выделить три основных вида контроля исследуемых приборов:

1. *Контроль выходных параметров* изделия или его узлов, определяющих его работоспособность согласно установленным ТУ. Обычно эти параметры могут быть измерены тем или иным способом с использованием методов, применяемых для контроля готового изделия. Более доступен, как правило, контроль выходных параметров приборов или его функциональных узлов. Контроль выходных параметров дает ответ на вопрос о работоспособности изделия, но не определяет места и вида повреждения, приводящего к отказу.

2. *Контроль повреждений*, которые приводят или могут привести к отказу изделия. Величины износа, деформации, степень коррозии и т.п. также являются теми диагностическими признаками, по которым можно сделать вывод о техническом состоянии изделия. Они являются первопричиной отказа и связаны с выходными параметрами функциональной зависимостью.

В общем случае должен быть осуществлен поиск неисправностей, – например, методом последовательной проверки элементов или методом последовательных разбиений всего множества элементов на две части. В последнем случае процедура обнаружения места повреждения при сигнале о недопустимом изменении выходного параметра или отказе функционирования изделия заключается в разделении всех возможных мест повреждений на две части и контроле (в совокупности) работоспособности каждой из них. Неисправную часть снова разбивают на две и продолжают анализ до тех пор, пока не будет обнаружено место повреждения.

3. *Контроль работоспособности изделия по косвенным признакам*, производится в случае, когда непосредственное измерение выходных параметров затруднительно или когда требуется интегральная характеристика состояния изделия. Эти признаки должны быть функционально связаны с работоспособностью изделия и отражать изменения, происходящие в приборе.

Косвенными диагностическими признаками могут служить: акустические сигналы: изменение температуры изделия, давления в системе: наличие в смазке продуктов износа; изменение параметров, характеризующих динамическое состояние системы (амплитудно-фазовых и частотных характеристик) и т.п.

Существенным преимуществом использования косвенных признаков является возможность оценки изделия в процессе его работы, или, во всяком случае, без разборки (при диагностировании в специальных условиях).

При осуществлении процесса диагностирования изделия выбираются те признаки и параметры, контроль которых дает наиболее объективные сведения о состоянии прибора.

Датчики, измеряющие отдельные параметры прибора, дают сигналы, на основе анализа которых необходимо сделать заключение о техническом состоянии объекта с указанием при необходимости места, вида и причин дефектов.

Сигнал, по которому надо судить о значении признака (выходной параметр, степень повреждения или косвенный признак), может иметь различный характер. Наиболее простым является случай, когда показание датчика непосредственно характеризует состояние объекта, точность измерения достаточно велика и можно не учитывать влияния посторонних факторов. Здесь нахождение показаний прибора в допустимых пределах свидетельствует о работоспособности изделия, а по величине сигнала можно судить о близости к предельному состоянию.

Однако в ряде случаев, особенно при суждении об отказе по косвенным признакам, на сигнал может оказывать влияние не только степень повреждения элемента или узла, но и посторонние факторы (помехи), искажающие полученную информацию.

В этом случае для повышения достоверности показаний необходимо иметь группу признаков, характеризующих степень приближения к отказу – «синдром отказа», с тем, чтобы по их сочетанию судить о действительном состоянии объекта. Так, если при диагностике подшипника одновременно с измерением температуры масла контролировать и точность его вращения или уровень вибраций, то вероятность правильного диагноза повысится.

Значительно большую информацию, чем показания датчика, дающего численное значение параметра, несет сигнал в виде функциональной зависимости. Такими сигналами будут, например, законы изменения усилий или крутящихся моментов за цикл работы механизма или законы перемещения отдельных звеньев: вибрации, возникающие в системе: акустические характеристики и т.п. Анализ изменений, происходящих в законах движения, спектральный анализ процессов вибраций или акустических сигналов и другие методы оценки функций позволяют из одного сигнала выделить ряд составляющих, характеризующих состояние различных элементов или узлов изделия.

Таким образом, сигнал, выдаваемый в виде реализации некоторой закономерности, заменяет показания целого ряда приборов, определяющих дискретные значения отдельных параметров.

При диагностировании сложных приборов, работоспособность которых характеризуется большим числом выходных параметров, возникает ряд дополнительных проблем:

1) установление номенклатуры основных диагностических сигналов с тем, чтобы они характеризовали работоспособность исследуемого прибора;

2) составление по набору этих данных суждения о техническом состоянии всего прибора, о необходимости его ремонта или о времени, в течение которого он сможет сохранить свою работоспособность;

3) разработка системы технического диагностирования, включающей технические средства, и *алгоритма диагностирования*, т.е. совокупности предписаний о проведении диагностирования, а также выбор метода диагностирования (функциональное или тестовое).

Эти вопросы решаются обычно на основе общих положений теории надежности с использованием моделей отказов, оценки предельного состояния изделия, методов прогнозирования изменений состояния объекта, изучения физики отказов и других данных.

Разработке систем технического диагностирования предшествуют, как правило, исследования, устанавливающие связи между характеристиками диагностических сигналов и состоянием прибора. При этом учитывается, что диагностирование может быть *функциональным*, осуществляемым во время работы прибора, когда действуют только рабочие нагрузки, и *тестовым*, при котором на объект подаются специальные воздействия и по реакции прибора судят о его техническом состоянии. Тестовые воздействия не должны влиять на правильность функционирования и работоспособность изделия.

При разработке систем и методов диагностирования сложного объекта основываются на аналитических или графоаналитических представлениях основных свойств изделия в виде так называемых *диагностических моделей*. Они могут быть представлены в векторной форме, в виде системы дифференциальных уравнений или передаточных функций, связывающих входные и выходные параметры.

Раскрытие этих связей и разработка системы диагностирования сложного объекта могут осуществляться двумя основными способами или их комбинацией.

*Первый способ диагностирования* заключается в получении большого числа сигналов, характеризующих работу отдельных узлов и элементов прибора, на основании которых делается заключение о его состоянии. При тестовом методе диагностирования для получения необходимых диагностических сигналов надо выбрать вид и последовательность специальных воздействий на прибор.

Полученное от датчиков большое число разнообразных данных должно быть обработано по специальной программе с тем, чтобы определить ту категорию состояния, в которой находится прибор, и те действия, которые необходимо предпринять, чтобы восстановить его работоспособность.

Для этой цели с успехом применяется вычислительная техника, когда на вход ЭВМ подаются сигналы датчиков, которые преобразуются в цифровой код. Вычислительная машина может по специальной программе задать испытываемому изделию определенный режим работы (при тестовых испытаниях), сравнить показания датчиков с эталонными значениями, хранящимися в ее памяти, выбрать результат диагноза в виде специальных карт, в которых, кроме указания поврежденных деталей, содержатся инструкции по их ремонту.

Для оценки состояния изделия по многим показателям может быть использована теория распознавания незрительных образов, когда по совокупности значений множества параметров судят о принадлежности объекта к тому или иному классу. Например, 1-й класс – объект работоспособен; 2-й класс – объект работоспособен, но требует подналадки; 3-й класс – объект неработоспособен и требует ремонта.

*Второй способ диагностирования* заключается в применении методов, которые позволяют судить о состоянии прибора по параметрам какого-либо динамического процесса, связанного с функционированием механизмов и отражающего состояние прибора. Такой процесс можно разложить на составляющие и получить необходимую информацию о работоспособности отдельных механизмов. При этом, в принципе, возможно использовать всего один преобразователь или, во всяком случае, ограниченное число диагностических сигналов.

При работе механизмов происходят удары, возбуждающие в материале упругие колебания, которые регистрируются соответствующими датчиками. Поскольку при возбуждении колебаний одновременно всеми кинематическими парами прибора образуется единое волновое поле, основная задача при диагностировании этим методом заключается в разделении суммарного сигнала на составляющие так, чтобы можно было оценить вклад каждой кинематической пары.

Литература: [1, 5, 10, 15]

## РАЗДЕЛ 4 РЕМОНТ ПРИБОРОВ

### 4.1. Ремонтпригодность приборов

#### *Общие сведения о ремонтпригодности приборов*

*Ремонтпригодность* есть свойство приспособленности прибора к обнаружению, устранению и предупреждению отказов и выполнению ремонтов в течение заданного времени при полном обеспечении ремонтными средствами и запасными частями. Прибор с высокой ремонтпригодностью позволяет проводить его ремонты наиболее простыми средствами и с минимальными затратами со стороны обслуживающего персонала.

Ремонт прибора во время эксплуатации состоит из двух видов: текущего и профилактического.

*Текущий ремонт* производится при обнаружении неисправности, которую необходимо устранить на месте для восстановления работоспособности аппаратуры.

*Профилактический ремонт* состоит из ряда регламентных работ, объем и сроки исполнения которых заранее предусматриваются для данного прибора. Такой вид ремонта состоит из периодической регулировки, подстройки, чистки, смазки, а также замены некоторых деталей, срок службы которых истек, независимо от их фактического состояния. Во время профилактического ремонта устраняются все замеченные неисправности. Ремонтпригодность определяется:

- 1) средствами проверки функциональных и параметрических величин прибора;
- 2) временем, необходимым для отыскания места неисправности и выяснения ее характера;
- 3) доступом к сменным узлам с минимальной затратой времени;
- 4) взаимосвязью узлов и удобством их замены;
- 5) обеспеченностью и состоянием ремонтного инструмента и оборудования;
- 6) укомплектованностью запасными частями и принадлежностями;
- 7) условиями размещения прибора в комплексах.

Восстановление работоспособности прибора может производиться при самых неблагоприятных условиях. Поэтому обеспечение оперативного доступа к сменным узлам прибора и удобство замены вышедших из строя элементов с учетом наиболее неблагоприятных условий эксплуатации являются одной из главных задач конструктора.

Ремонтпригодность заранее не может быть задана в определенной количественной форме. Однако ее уровень уже достаточно точно может быть определен такими показателями, как вероятность отказов, готовность системы к работе и время выполнения работ по работоспособности.

## ***Факторы, определяющие ремонтпригодность приборов***

Специфическое свойство ремонтпригодности приборов заключается в том, что она зависит от конструкции прибора, а проявляется в конкретных условиях эксплуатации. В зависимости от этих условий потенциальные возможности конструкции могут быть использованы в большей или меньшей степени.

При конструировании прибора на его ремонтпригодность основное влияние оказывают следующие факторы:

1) общая компоновка прибора с точки зрения доступности к его узлам и механизмам для контроля их состояния, обслуживания и проведения ремонтных работ:

2) простота разборки и монтажа узлов и сопряжений, в первую очередь тех, которые могут входить в межремонтное обслуживание; быстросменность элементов, обладающих малой стойкостью;

3) применение принципа агрегатирования, когда прибор легко расчленяется на отдельные узлы и блоки, причем присоединение их к прибору не требует применения специальных приемов;

4) использование стандартных узлов и элементов: применение принципа унификации, когда ремонтники и эксплуатационники встречаются с однотипными и одинаковыми узлами и механизмами в различных приборах;

5) применение принципов автоматической подналадки и компенсации износа саморегулирования параметров прибора, автоматизации профилактических операций;

6) простота обнаружения отказов или повреждений за счет встроенных приборов, контролирующих выходные параметры изделия и диагностирующих его состояние;

7) возможность производить регулировку, замену износившихся элементов, осуществлять диагностику и другие работы простыми методами, без применения высококвалифицированной рабочей силы.

## ***Критерии ремонтпригодности***

Объем работ по восстановлению безотказности прибора в достаточной степени характеризуется вероятностью отказа и средним временем ремонта, затрачиваемым на один отказ. Если вероятность безотказной (исправной) работы прибора находится в пределах  $Q(t) \leq P(t) \leq 1$ , то очевидно, что вероятность противоположного события – отказа  $Q(t)$  – может быть записана в виде

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

На основании теории надежности  $P(t) = e^{-\lambda t}$ . Поэтому

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы;  $\lambda$  – интенсивность отказов;  $t$  – время безотказной работы системы.

Когда задано среднее время ремонта прибора, приходящееся на один отказ, с помощью вероятности отказа можно аналитически определить то время, которое система должна находиться в состоянии ремонта. Например, предположим, что вероятность безотказной работы в течение 100 ч задана равной 0,99. Если система состоит из 1000 элементов, то в течение исходного времени (100 ч), вероятно, выйдет из строя 0,01 их часть ( $Q(t) = 1 - 0,99 = 0,01$ ), что составляет 10 элементов, которые могут вызвать 10 отказов. Если известно среднее время ремонта на один отказ  $t_B$ , то на устранение 10 отказов понадобится время, равное  $10t_B$ .

Таким образом, среднее время ремонтов прибора на один отказ определяется общим временем ремонтов и количеством отказов за определенный промежуток времени. Эта характеристика является *основным критерием ремонтпригодности*.

При отказе прибора восстановление его безотказности производится исполнением ряда последовательных однотипных операций в течение определенного времени:

- 1) обнаружение неисправности и отключение неисправного участка с затратой времени  $t_1$ ;
- 2) вскрытие доступа к неисправному участку и отыскание неравного узла  $t_2$ .
- 3) восстановление его работоспособности (извлечение запасного узла из ЗИПа, изъятие вышедшего из строя, установка запасного на его место)  $t_3$ ;
- 4) послеремонтная проверка готовности к работе  $t_4$ ;
- 5) настройка, регулировка или калибровка параметров, закрытие прибора и пуск системы в работу  $t_5$ .

Общее время, затраченное на ремонт  $T_p$ , составляет сумму времени, затраченного на перечисленные пять операций:

$$T_p = \sum_{i=1}^5 t_i$$

Среднее время восстановления безотказности прибора на один отказ можно определить по формуле

$$t_B = \frac{\left( \sum_{i=1}^n t_i \right)}{n}$$

где  $t_i$  – время, затраченное на устранение  $i$ -го отказа;  $n$  – количество отказов за определенный промежуток времени.

Связь между надежностью и ремонтпригодностью характеризуется также и коэффициентом готовности прибора к работе  $K_r$ , который определяется отношением среднего времени исправной работы на один отказ  $T_0$  к

сумме этого времени и среднего времени восстановления данной системы на один отказ, т.е.

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + t_B}.$$

Коэффициент вынужденного простоя (бездействия) прибора из-за ремонтов  $K_{\Pi}$  будет определяться отношением среднего времени восстановительного ремонта на один отказ к сумме исправной работы системы и среднего времени ее восстановления

$$K_{\Pi} = \frac{t_B}{T_0 + t_B},$$

причем  $K_r + K_{\Pi} = 1$ .

### ***Меры обеспечения ремонтпригодности***

Наиболее совершенной надо считать конструкцию прибора, которая одновременно с большой надежностью имеет минимальные габаритные размеры, массу и высокую ремонтпригодность. Высокая ремонтпригодность отличается отсутствием сложных установочных манипуляций, дополнительных электромонтажных работ, длительных разборочных операций и большого количества винтовых креплений. Одним из главных качеств ремонтпригодности является несложность обслуживания, простота и оперативность операций восстановительного ремонта.

При разработке приборов оперативный доступ к сменным узлам в обеспечении ремонтпригодности играет наиболее важную роль. Из большого числа разнообразно решаемых способов обеспечения доступа к сменным узлам минимальными и достаточными могут служить следующие пять.

*Первый способ* – наиболее простой, обеспечивающий доступ к блокам без снятия их со своих мест крепления за счет съема крышек и кожухов прибора.

*Второй способ* предусматривает обеспечение доступа к элементам блоков, когда последние освобождаются от креплений и снимаются с прибора.

*Третий способ* применяют в блоках, выдвигающихся из корпуса прибора.

*Четвертый способ* применяют для группы блоков с горизонтальными шасси, которые устанавливаются в выгородках корпуса прибора на телескопических направляющих. Направляющие позволяют не только выдвигать блоки, но и разворачивать их на  $90^\circ$ .

*Пятый способ* включает установку блоков, откидывающихся из корпуса прибора, с фиксацией этого положения ограничителями.

## ***Системы контроля и отыскания неисправностей***

Системы контроля и отыскания неисправностей могут быть ручными, полуавтоматическими, автоматическими, автономными или встроенными в контролируемый прибор. Автономная система komponуется из отдельных приборов, встроенная представляет собой конструктивно единое целое с контролируемым изделием. Ручной контроль параметров применяется в сравнительно несложных приборах, полуавтоматический – в аппаратуре средней сложности. В сложных приборах наиболее распространен автоматический способ контроля.

В комплекте контрольно-измерительной аппаратуры широко используют измерительные приборы, индикаторы, осциллографы, селекторные шаговые искатели и магнитоуправляемые контакты. Точки прибора, к которым подключается контрольно-измерительная аппаратура, называются контрольными и делятся на основные, промежуточные и вспомогательные. К основным относятся контрольные точки на входе и выходе сменных узлов, на электрических соединителях, а также на основных выносных (наружных) приборах системы. Любая неисправность, возникшая в системе, определяется без снятия каких-либо контролируемых узлов.

На контрольных панелях монтируют органы контроля, ручное управление и сигнальные устройства. Во время работы системы лицевые панели встроенного контроля остаются закрытыми легкими крышками или шторками, чтобы не отвлекать внимание оператора от основной его работы. Открытыми остаются лишь устройства, сигнализирующие о неисправности. На лицевой панели размещают и элементы контроля неисправности самих контрольных устройств.

Ручной контроль применяется в несложных приборах и производится с помощью комплекта контрольно-измерительных приборов, хранящихся в ЗИП, или с помощью встроенной контрольной панели с измерительными многопозиционными переключателями, связанными с контрольными точками прибора.

Полуавтоматический контроль применяется в приборах средней сложности. Он запускается в работу ручным способом при наличии сигнала о неисправности, снимаемого с индикаторов. С помощью контрольной панели выполняются послеремонтные проверочные и калибровочные работы.

Автоматические устройства встроенного контроля обнаруживают вышедшие из строя узлы прибора, включают взамен их резервные, регистрируют это включение в памяти, контролируют все режимы работы, обеспечивают необходимые регулировки или информируют оператора о выходе параметров за пределы допуска. Система встроенного контроля должна иметь более высокую надежность, чем основной прибор.

### ***Общий порядок поиска неисправностей***

При диагностике приборов первоначально производится их визуальный осмотр. В ряде случаев внешнее проявление неисправности позволяет в

дальнейшем локализовать место ее нахождения. Даже не вскрывая прибор, можно получить достаточно информации о его состоянии. На передней панели прибора расположены различные органы управления, индикации и т.д. Работа с ними позволяет определить возможное место неисправности в приборе.

В практике ремонта приборов известны следующие способы обнаружения причин неисправностей, основанные на внешних признаках: 1) способ характерных неисправностей; 2) способ контрольных переключений; 3) способ сравнения; 4) способ замены деталей (узлов).

*Способ характерных неисправностей* позволяет определить неисправность на основе известных признаков, однозначно характеризующих ее. Часто перечень характерных неисправностей и признаки их проявления указываются в эксплуатационно-технической документации на прибор, что обеспечивает локализацию отказов.

*Способ контрольных переключений* состоит в том, что путем оценки внешних признаков проявления неисправностей и анализа взаимодействия элементов в различных режимах последовательно исключаются из рассмотрения исправные узлы прибора. При этом используется информация от средств текущего контроля: сигнальных ламп, встроенных приборов и т.п. Анализируя работу прибора в различных режимах, можно сузить область поиска неисправности. В том случае, когда прибор не функционирует во всех режимах, причиной неисправности является выход из строя узлов, блоков, задействованных во всех режимах. Такими элементами являются блоки питания, схемы синхронизации, микропроцессорные БИС и др.

При визуальной проверке разобранного прибора можно обнаружить: разорванные проводники, отслоившийся печатный монтаж, окислившиеся места паяных соединений, поврежденные корпуса интегральных микросхем, резисторов, согнутые штырьки и другие дефекты. Часто причиной неисправной работы прибора может служить плохой контакт разъема печатной платы. В этом случае требуется проверить соединения блоков и плат и при необходимости зачистить контакты разъемов.

*При способе сравнения* сопоставляют признаки работы неисправного узла диагностируемого прибора и однотипного узла заведомо работоспособного прибора. При этом можно получить достаточно много информации, позволяющей быстрее локализовать место нахождения неисправности.

При наличии запасных печатных плат (узлов, блоков) прибора можно локализовать неисправность *способом замены деталей*, однако при этом существует опасность повредить годную плату вследствие электрических перегрузок, которые повредили предыдущую плату. Поэтому перед заменой платы целесообразно убедиться в том, что на нее подаются верные значения питающих напряжений, отсутствуют короткие замыкания в выходных цепях и перегрузки на входе. В любом случае при замене плат источник питания должен отключаться от прибора. Такой метод иногда позволяет быстро обнаружить неисправный элемент и одновременно устранить отказ. Однако при этом требуются заведомо исправные элементы (блоки, печатные платы, узлы и др.). Кроме того, из-за сложности демонтажа отдельных элементов этот ме-

тод не всегда можно использовать. Частая замена элементов в некоторых случаях может понизить надежность прибора. Поэтому такой метод применяют чаще всего при отыскании отказов в сменных узлах приборов.

Начинать локализацию отказов всегда следует с применения способов характерных неисправностей и контрольных переключений как наименее трудоемких. Если ни один из них не приведет к выявлению отказавшего элемента, необходимо перейти к способам сравнения и замены.

Безусловно, перечисленные рекомендации помогают упорядочить диагностику приборов, но не дают четких правил, позволяющих отыскать отказавший элемент в сложном приборе. Для этого целесообразно использовать научно обоснованные методы поиска неисправностей, предусматривающие выполнение ряда контрольных операций по определенному плану.

Место нахождения неисправности локализуют с помощью различных поисковых процедур, направленных на последовательное сужение области нахождения дефекта. При этом план поиска строят на основе статистических (априорных) данных о надежности средства измерений и его элементов, сведений о структуре (схеме) и результатов контроля его параметров. Таким образом, для выявления отказавших элементов приборов в определенной последовательности проверяют исправность отдельных элементов или групп элементов. Проверка представляет собой совокупность операций, производимых на объекте диагностирования, для получения некоторых результатов, по которым можно судить о состоянии, по крайней мере, одного элемента. Иначе говоря, проверка – это контроль, в ходе которого измеряются отдельные параметры, наблюдаются реакции на определенные стимулирующие воздействия. Последние представляют собой либо естественные сигналы, поступающие на вход исследуемых элементов приборов, либо специально подаваемые воздействия от генераторов стимулирующих сигналов.

Различают поэлементную проверку приборов, проверку по блокам (или модулям) и проверку по группам элементов (которые не образуют функциональной единицы в составе прибора).

Чтобы поиск отказавших элементов был эффективным, необходимо рационально, с учетом конкретных условий, в которых проводится поиск, выбрать способы проверки элементов и установить правильный "маршрут" поиска, т.е. правильную последовательность проверок. При выборе маршрута поиска необходимо учитывать вероятности отказов элементов: чем надежнее элемент, тем меньше вероятность его отказа, следовательно, он может быть проверен позднее.

### ***Методы поиска отказавших элементов***

Различают два основных метода поиска неисправностей: комбинационный и последовательный.

При *комбинационном методе* поиска состояние элементов прибора определяют путем выполнения заданного числа проверок, порядок проведения которых может быть произвольным. Отказавшие элементы выявляют после выполнения всех заданных проверок, сопоставляя и анализируя их результа-

ты. Метод называют комбинационным потому, что неисправный элемент обнаруживают на основании совокупности (комбинации) проверок. Он довольно эффективно используется в сложной оптико-электронной аппаратуре при наличии встроенных средств контроля.

Разновидностью комбинационного метода можно считать *способ поэлементной проверки*, когда проверяют все без исключения элементы. После этого элементы разделяют на годные и негодные. Такая проверка проводится при капитальном ремонте измерительной техники либо при наличии в приборах более одного неисправного элемента. Комбинационный метод приводит к большим трудозатратам, и поэтому в случае поиска единичных неисправностей в приборах используется редко (как правило, для обнаружения отказавших блоков, узлов).

При *последовательном методе* поиска неисправностей проверки выполняют в определенном порядке, который обеспечивает наиболее рациональную их очередность. Результаты каждой проверки анализируют непосредственно после ее проведения, и если отказавший элемент еще не определен, то выполняют следующую по порядку проверку. Порядок выполнения проверок может быть строго фиксированным (заранее заданным) или же зависеть от результатов предыдущих проверок. В соответствии с этим различают две модификации последовательного поиска:

1) последовательных поэлементных проверок, когда их выполняют в некотором заранее заданном жестком порядке, который определяется до начала поиска неисправности и при его проведении остается неизменным;

2) последовательных групповых проверок, когда каждая последующая проверка назначается в зависимости от исхода предыдущих.

Эффективность различных методов последовательного поиска оценивают средним временем поиска неисправностей или числа проверок, проведенных для выявления отказавших элементов.

При использовании *метода последовательных поэлементных проверок* элементы приборов проверяют по одному в определенной, заранее заданной последовательности. Если проверенный элемент оказался неисправным, поиск прекращают и производят восстановление прибора. Различают следующие разновидности метода последовательных поэлементных проверок: 1) выборочный; 2) неупорядоченный; 3) поиск по принципу от начала к концу или от конца к началу.

При *выборочном методе* поиска неисправностей учитывают вероятности отказов и время (или стоимость) проведения каждой проверки. Для пояснения этого метода предположим, что функциональный узел состоит из  $n$  элементов, соединенных между собой произвольным образом. Пусть известны заранее вероятности отказов  $Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_n$ , и среднее время (стоимость) проверки каждого элемента  $\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n$ . Предположим, что отказал только один элемент. Начнем проверять элементы по одному. Тогда при какой-либо очередной проверке будет обнаружен отказавший элемент. Конечно, желательно проверить его в самом начале поиска и тем самым сократить время диагностики прибора.

Если время проверок всех элементов одинаково или неизвестно, тогда руководящим соображением при выборе порядка проверки должна быть вероятность отказа: первым должен проверяться элемент с наибольшей вероятностью отказа, вторым (если первый оказался исправным) – элемент с несколько меньшей вероятностью отказа, чем первый, и т.д.. т.е. элементы следует проверять по порядку убывания вероятностей их отказа.

В другом крайнем случае, когда все вероятности отказа равны (или неизвестны), но различны затраты времени на проверку элементов, определяющим соображением в выборе порядка проверки должна быть продолжительность каждой из них. При этом элементы надо проверять по порядку возрастания затрат времени: первым – элемент с наименьшим временем проверки, вторым – элемент с несколько большим временем проверки, чем у первого, и т.д.

В общем случае, когда вероятности отказов и время на проверку элементов различны, поиск неисправности следует проводить в порядке убывания отношения  $Q/\tau_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , вычисленного для каждого элемента. Например, если  $Q_3/\tau_3 > Q_6/\tau_6 > Q_1/\tau_1 > \dots$ , то эти элементы должны проверяться в следующем порядке: 3-й, 6-й, 1-й,.... При таком порядке поиска среднее время обнаружения неисправности будет минимальным.

В том случае, когда сведения о надежности элементов и временных затратах на их проверку отсутствуют, отказавший элемент ищут в произвольном порядке. *Неупорядоченный метод* частично упорядочивает процесс поиска, организуя его от начала к концу или от конца к началу.

Недостатком метода последовательных поэлементных проверок является сравнительно большое число измерений. Объясняется это тем, что в данном методе при поиске неисправностей не используются функциональные связи отдельных элементов, хотя такой подход делает метод универсальным, так как не зависит от функциональной схемы прибора. Поэтому тогда, когда можно установить функциональные связи между элементами прибора и проследить последовательное преобразование сигнала в схеме, используют *метод последовательных групповых проверок*.

Сущность этого метода заключается в том, что все элементы прибора или его составной части с учетом их функциональных связей разбивают на отдельные группы и контролируют исправность каждой группы в отдельности. Очередная проверка определяется результатами предыдущих проверок. По мере проведения проверок число элементов в группе уменьшается. На последнем этапе контроля в группе должен быть один элемент.

### ***Обеспечение приборов запасными частями***

На трудоемкость ремонта большое влияние оказывает возможность быстрой замены поврежденного узла или детали прибора и восстановления за счет этого утраченной работоспособности.

Обычно для эксплуатации приборов предусматриваются запасные части, номенклатура которых должна отражать характер типичных повреждений, возникающих в приборе, а их количество – соответствовать потребности, ис-

ходя из сроков службы и методов ремонта. Конструкция прибора должна быть приспособлена к осуществлению быстросменности.

Наличие запасных частей значительно сокращает время и стоимость ремонта и, как правило, полностью восстанавливает утраченную работоспособность, поскольку эти детали изготовлены в тех же условиях, что и установленные в приборе, и обладают необходимыми показателями качества. Это дает большой экономический эффект, увеличивает межремонтный период, способствует эксплуатации прибора в разнообразных условиях

В различных отраслях приборостроения создаются специализированные заводы или подразделения для производства запасных частей, причем это производство занимает обычно существенную долю в общем объеме продукции.

Однако правильное планирование выпуска запасных частей является сложной задачей.

Во-первых, установление номенклатуры быстроизнашивающихся частей на стадии проектирования или для нового прибора, не имеющего опыта эксплуатации, не представляется возможным. Отсутствие данных по скорости изнашивания деталей и срокам службы, недостаточная информация об эксплуатации прототипов или аналогичных изделий, неточность методов расчета сроков службы – все это приводит к тому, что конструктор может установить перечень быстроизнашивающихся деталей лишь с грубым приближением.

Во-вторых, при определении потребности в запасных частях на весь период эксплуатации прибора не всегда известны спектры предполагаемых или имеющих место эксплуатационных нагрузок, условий работы и ремонта прибора.

Поэтому часто трудно оценить даже средние значения сроков службы или скоростей изнашивания отдельных деталей и сопряжений по ним – потребность в объеме запасных частей.

Количество необходимых запасных частей при эксплуатации приборов можно оценить двумя основными способами:

1) на основании статистических данных из сферы эксплуатации, что дает достаточно точную картину лишь для устойчивых в конструктивном отношении моделей приборов и при постоянном анализе тенденций в потребности запасных частей;

2) методом расчета в сочетании со статистическим моделированием (расчет показателей надежности на стадии проектирования, рассмотренных выше, является базой и для оценки потребности в запасных частях).

Наличие в приборе запасных частей, которые заменяются при межремонтном обслуживании или при текущих плановых ремонтах, накладывает отпечаток и на конструкцию прибора. Помимо удобства демонтажа и установки заменяемой части необходимо, чтобы заменялся как можно меньший по массе и простой по конфигурации узел. Это часто связано с применением специальных конструктивных решений, которые упрощают и удешевляют ремонт и эксплуатацию прибора, а также производство запасных частей. Например, при износе сложного кулачка может заменяться не весь кулачок, а

лишь изношенная часть профиля; при смятии отверстий под пальцы у рычагов и многозвенных механизмов должен заменяться не рычаг, а его головка или втулки под отверстия, и т.п. Конструкция прибора должна соответствовать ремонтпригодности.

### ***Ремонтосложность прибора***

Помимо характеристики ремонтпригодности часто возникает потребность в оценке сравнительной трудоемкости ремонта приборов различного конструктивного оформления и различной сложности. При планировании ремонтных работ удобно выбрать один из приборов за эталон, с которым сравнивать трудоемкость ремонта всех остальных моделей, оценивая ее в относительных показателях (коэффициентах).

Этот метод удобен тем, что для вновь создаваемого прибора можно с достаточной степенью приближения подсчитать показатель ремонтосложности, если известно влияние на него основных конструктивных факторов и технических характеристик.

Эти корреляционные зависимости можно получить на основании исследования и анализа фактической трудоемкости различных изделий. Ведущее влияние на показатель ремонтосложности оказывают вес прибора и его габариты, общее число деталей или сопряжений в приборе, конструктивные параметры данной модели и т.п. Ремонтосложность нового изделия можно рассчитать по формуле:

$$R = \left( \frac{G}{G_э} \right)^{0,4} \left( \frac{n}{n_э} \right)^{0,8},$$

где  $G$  и  $G_э$  – масса оцениваемого прибора и прибора-эталона;  $n$  и  $n_э$  – число деталей в оцениваемом приборе и приборе-эталоне.

Показатели степени в приведенной формуле получены на основании статистической обработки данных о влиянии  $G$  и  $n$  на трудоемкость ремонта. Применение относительных показателей ремонтосложности облегчает оценку ремонтпригодности приборов.

## **4.2. Дефектация и диагностирование**

### ***Методы дефектации***

В процессе эксплуатации изменяется техническое состояние сборочных единиц и деталей прибора, однако это изменение происходит с неодинаковой скоростью. Одни сборочные единицы и детали изменяются незначительно и вновь пригодны для сборки, другие требуют проведения ремонтно-восстановительных работ, третьи повреждены настолько, что их ремонт не гарантирует восстановления надежности, или же ремонт экономически не оправдан.

Допустимые отклонения технического состояния сборочных единиц и деталей приводятся в ремонтной документации. Всякое отклонение, превышающее допустимое значение, приводит к тому, что сборочная единица или деталь будет считаться дефектной. *Дефектом* называют каждое отдельное несоответствие требованиям, установленным ремонтной документацией.

*Дефектацией* называют комплекс контрольных операций, которые определяют техническое состояние и годность сборочных единиц и деталей ремонтируемого изделия. Цель дефектации – выявление неисправностей, определение пригодности сборочных единиц и деталей к сборке, назначение вида и объема ремонта. Дефектация является ответственной частью процесса ремонта, поскольку результаты ее существенным образом определяют как надежность отремонтированных приборов, так и технико-экономические показатели ремонтного предприятия. Поэтому в процессе дефектации необходимо добиваться максимально точной оценки технического состояния объектов дефектации и максимально возможного восстановления деталей и сборочных единиц.

Дефектация может быть субъективной, объективной и смешанной.

*Субъективная дефектация* проводится, в основном, с помощью органов чувств человека с применением простейших технических средств: лупы, микроскопа, динамометра, отвертки. Субъективная дефектация позволяет давать приближенную оценку технического состояния дефектируемых элементов без каких-либо точных количественных показателей. Достоверность такой дефектации во многом определяется квалификацией и опытом работников.

*Объективная дефектация* и *техническая диагностика* являются наиболее точными, современными и быстро развивающимися методами оценки технического состояния изделия, его элементов. Объективная дефектация, выполняемая с помощью контрольно-измерительных приборов, дает точную количественную информацию о техническом состоянии объектов дефектации.

*Смешанная дефектация* включает в себя субъективную дефектацию всех сборочных единиц и деталей, а также объективную дефектацию наиболее ответственных и напряженных элементов или их определенных параметров и характеристик.

Дефектацию начинают с технического осмотра всех сборочных единиц и деталей.

После технического осмотра производят необходимые проверки и измерения с помощью контрольно-проверочной аппаратуры и измерительных инструментов. Контролю подвергают параметры сборочных групп, сборочных единиц, готовых изделий. На деталях проверяют действительные размеры поверхностей, подверженных наибольшему износу. *Действительным размером* называют размер, установленный измерением детали. Действительные размеры должны соответствовать рабочим чертежам, т.е. размерам новых деталей, или ремонтным размерам, приводимым в руководствах по ремонту и ремонтных чертежах. Наиболее ответственные и тяжело нагруженные детали

подвергают контролю неразрушающими методами магнитной, ультразвуковой, люминесцентной дефектоскопии для обнаружения скрытых дефектов.

В результате дефектации все сборочные единицы и детали прибора разделяются на три группы: пригодные для сборки, требующие ремонта, непригодные для сборки. Непригодные детали должны быть немедленно изолированы и подвергнуты утилизации.

Результаты дефектации вносят в ведомость дефектов, форма которой установлена на ремонтном предприятии. Ведомость дефектов служит основанием для направления сборочных единиц и деталей прибора в ремонт, проведения восстановительных работ, использования комплекта запасных частей для замены непригодных деталей. На сборочные единицы и детали, признанные при дефектации пригодными для сборки без ремонта, должно быть нанесено клеймо способом, принятом на ремонтном предприятии.

### ***Измерения при дефектации***

Преимущественное место при дефектации приборов занимают измерения параметров сборочных групп и единиц, выполняемые с помощью контрольных приспособлений и измерительных приборов. Потребность в проверке некоторых размеров деталей возникает для немногих тяжелонагруженных элементов деталей и поверхностей с видимым значительным износом. Проведение контроля определенных размеров может регламентироваться ремонтной документацией.

В процессе эксплуатации происходит изменение геометрических размеров и формы трущихся деталей приборов вследствие изнашивания. На интенсивности изнашивания сказывается нагруженность детали, условия ее работы. Возможность использования деталей, подверженных наибольшему износу, для сборки отремонтированного прибора должна быть установлена в процессе дефектации. Это достигается измерением действительных размеров изношенных деталей, вычислением зазоров в соединениях, сравнением полученных данных со значениями предельно допустимых размеров и зазоров, приводимых в руководствах по ремонту и ремонтных чертежах. Размеры или допускаемые отклонения, устанавливаемые для деталей, предназначенных для сборки отремонтированного изделия, называются *ремонтными размерами*, или *допусками*. Ремонтные размеры и допуски, определенные на основании анализа изделия, изучения эксплуатационных данных, подтверждаются расчетами, испытаниями, опытным ремонтом, после чего вносятся в руководства по ремонту и ремонтные чертежи.

Контроль размеров в ремонтном производстве ввиду его мелкосерийного характера выполняется универсальными измерительными инструментами и приборами. Кроме того, применяются специализированные инструменты и стандартные калибры. В зависимости от степени точности для измерений используют штангенциркули, микрометры, глубиномеры. Более точные измерения могут быть выполнены с помощью миниметров, измеряющих действительные отклонения размеров, при этом номинальный размер набирается плоскопараллельными концевыми мерами (плитками). Широко используются

измерительные приспособления, сочетающие индикатор часового типа с подставками и кронштейнами различных конструкций. Определенные трудности возникают при измерении охватывающих поверхностей (отверстий) ввиду их малой величины. Обычно размеры отверстий измеряют калибрами-пробками.

Кроме калибров, рассчитанных на контроль определенного размера, употребляются комплексные калибры. Их используют для контроля резьбовых деталей, шлицев, соосности, стыковочных элементов прибора. Элементы резьбы можно измерить также на инструментальном микроскопе. Аналогично контролируют нарезку червяков червячных передач.

Степень износа зубьев зубчатых колес с достаточной точностью может быть оценена измерением размера по роликам для колес как с внешними, так и с внутренними зубьями. Допустимые размеры по роликам, размеры роликов приводятся в ремонтной документации. Ролики укладывают в диаметрально противоположные впадины колес, а измерение производят микрометром. Измерения следует производить в трех плоскостях.

Зазоры в муфтах, контактных системах измеряют щупами из стандартных наборов или специально изготовленными щупами в виде калибров.

Угловые размеры проверяют угломерами и шаблонами.

### *Дефектация деталей*

Металлические детали могут иметь раковины, поры, трещины и другие дефекты, появившиеся в процессе изготовления металла, полуфабриката, горячей или холодной обработки, термической или химико-термической обработки. Кроме того, дефекты могут возникнуть в процессе работы детали в механизме. Мелкие пороки, имеющиеся в толще материала детали или на ее поверхности, в процессе эксплуатации часто развиваются, что может привести к разрушению детали и отказу механизма. Для предупреждения таких явлений некоторые детали подвергают неразрушающему контролю, позволяющему выявить подобные дефекты.

Из методов неразрушающего контроля для проверки деталей приборов используются методы Дефектоскопии, а также просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами.

*Дефектоскопия окрашиванием* – наиболее простой и дешевый метод обнаружения в деталях трещин, выходящих на поверхность. Основан этот метод на способности керосина проникать в «мельчайшие поры и трещины. Подлежащую испытанию деталь тщательно очищают и опускают на 10-15 мин в раствор, содержащий 45% керосина, 45% трансформаторного масла и 10% скипидара. Затем деталь протирают, промывают водой и окрашивают тонким слоем суспензии каолина. Высыхая, суспензия впитывает проникший в трещину раствор, по следу которого определяют наличие дефекта и его расположение.

Раствор можно приготовить также из маловязкого индустриального масла и керосина. В этом растворе деталь прогревают 15...20 мин. после чего окрашивают краской из молотого мела, разведенного водой. На высохшей краске след дефекта имеет желтый цвет.

*Магнитная дефектоскопия* основана на использовании потока магнитных силовых линий, возникающих в намагниченной детали, с помощью которых обнаруживаются трещины, раковины, непровары и другие дефекты, находящиеся на глубине до 6 мм. В местах дефекта поток магнитных силовых линий прерывается и рассеивается, образуя полярность. Если на намагниченную деталь нанести тонкий слой порошка из магнитного материала, например, стальных опилок или кузнечной окалины, и слегка ее встряхнуть, частицы порошка расположатся соответственно направлению магнитных силовых линий, а в местах дефектов скопятся в виде холмиков.

Обычно пользуются не сухим порошком, а суспензией, приготовленной из тонкоизмельченной кузнечной окалины или прокаленной окиси железа (крокус), разведенной на трансформаторном масле с добавлением 30% керосина.

*Люминесцентный метод контроля* позволяет обнаружить поверхностные трещины на деталях из немагнитных металлов. Люминесцентный контроль заключается в нанесении на поверхность детали специальной жидкости, хорошо проникающей в поры и трещины и обладающей способностью светиться под действием ультрафиолетовых лучей. Излишки жидкости удаляют с поверхности детали, после чего на нее наносят порошок, легко впитывающий остатки жидкости, находящиеся в трещинах и порах. В этих местах при облучении образуется изображение яркой светящейся линии, соответствующей по своей форме дефекту.

*Просвечивание детали рентгеновскими лучами* позволяет обнаружить внутренние раковины, трещины и другие дефекты. Этот метод позволяет получить фотографическое изображение детали с имеющимся дефектом. Контроль основан на способности рентгеновских лучей проходить через металлы и сплавы. В местах дефекта целостность металла нарушена, прохождение лучей сопровождается меньшим ослаблением, в результате облучение фоточувствительного материала или люминесцентного экрана на этих участках будет большим, и на пленке или экране возникает изображение контура дефекта.

### ***Диагностирование приборов***

Задачи диагностики сводятся к тому, чтобы без разборки или с минимальной разборкой сборочных единиц по диагностическим признакам установить наличие неисправностей в деталях или элементах прибора, определить причины их возникновения и возможные последствия.

Диагностические признаки могут быть простыми, содержащими информацию о дефектах одной детали или одного сопряжения, и комплексными, содержащими информацию о дефектах сборочной единицы или изделия в целом. Так, простыми признаками являются внешний вид деталей, их размеры, биение или деформация подвижных частей, температура узлов; комплексными – снижение производительности, увеличение удельного расхода мощности, изменение рабочих параметров и т.п.

Диагностические признаки характеризуются вполне определенными геометрическими или физическими параметрами, по изменению которых су-

дят о надежности и работоспособности прибора. Параметры обслуживающий персонал устанавливает субъективно на основании опыта работы с приборами или объективно посредством их измерения универсальными или специальными приборами. На основании диагностических данных делается вывод о возможности дальнейшего использования прибора и уточняется объем работ, подлежащих выполнению при технических осмотрах и различных видах ремонта.

Методы диагностики, а также технология и техника устранения дефектов для каждого вида приборов приводятся в ведомственных инструкциях и руководствах по эксплуатации.

Оценка состояния приборов дается по результатам внешнего осмотра, наличию шумов и вибраций, степени нагрева узлов, качеству выполняемых операций.

*Внешним осмотром* устанавливают чистоту деталей и узлов, ость защитных покрытий, комплектность, правильность сборки, ремней и цепей и степень их износа, наличие смазки и исправность смазочных устройств, точность фиксации рукояток управления, исправность ограждений и блокировок, степень износа рабочих органов, целостность контура заземления и т.п.

*Шум и вибрация* в приборах возникают от динамических нагрузок. В каждом исправном узле шум характеризуется определенными частотными характеристиками и при соответствующей тренировке легко отличается обслуживающим персоналом от других шумов.

По мере изменения размерных и других рабочих параметров деталей вследствие их износа, а также при недостаточной или некачественной смазке шум в узлах усиливается и переходит в стук. Простейшими приспособлениями для прослушивания приборов являются стетоскоп или металлический стержень, один конец которого прикладывают к узлу, другой – к уху.

Вибрации определяют на ощупь или измеряют вибростопом. Появление ощутимых вибраций свидетельствует о значительном увеличении зазоров в подвижных сочленениях, перекосе осей валов или других дефектах. Вибрации создают дополнительные нагрузки на узлы и средства крепления и могут вызывать различные поломки.

*Нагрев узлов трения и рабочих органов* происходит в результате перехода части расходуемой механической энергии в тепловую. Нагрев узлов, работающих без притока тепла, допускается до 50 °С, а при использовании теплоустойчивых смазок – до 80 °С. При более высоких температурах возможен аварийный износ деталей вследствие нарушения режима смазки.

Для узлов, работающих при повышенных температурах, предельные рабочие температуры устанавливаются особо.

Нагрев узлов измеряют термометрами различных типов или определяют наощупь, руководствуясь тем, что рука длительное время выдерживает температуру около 50 °С.

Перегрев узлов может быть вызван неправильной подгонкой поверхностей трения, перекосом деталей, уменьшением посадочных ^ зазоров, повышенными удельными нагрузками, применением несоответствующих смазок.

*Качество выполняемых операций* снижается по мере износа рабочих органов приборов.

### 4.3. Организация ремонта

#### *Характер износа. Виды износа и защита от них*

*Износ нормальный и аварийный.* Нормальным износом называют изменения размеров деталей, свойств их материалов, происходящие в условиях исправного состояния и правильной эксплуатации оборудования. Интенсивность нормального износа обусловлена, главным образом, конструктивными особенностями частей, износостойкостью использованных материалов, условиями эксплуатации, качеством технического обслуживания, монтажа и ремонта.

При определенных неблагоприятных условиях нормальный износ переходит в аварийный.

*Аварийным износом* называют изменения размеров деталей и свойств их материалов, произошедшие в относительно короткий срок вследствие неправильной эксплуатации оборудования или некачественного технического обслуживания, монтажа или ремонта.

*Основные виды износа.* К основным видам износа относят *коррозию* металлов, которую по условиям и характеру протекания процесса подразделяют на химическую и электрохимическую. Химическая коррозия возникает при непосредственном соприкосновении металла со средой, не проводящей электричества: воздухом, дымовыми и другими газами (при условии выпадения из них влаги), смазочными маслами. Процесс окисления в газовой среде, содержащей кислород, протекает сравнительно быстро, однако образующиеся на поверхности металлов пленки окислов препятствуют дальнейшей реакции окисления. Лучшими защитными свойствами обладают пленки, образующиеся на цветных металлах и нержавеющей стали.

Электрохимическая коррозия возникает при соприкосновении металла с жидкостями, проводящими электричество, – электролитами

Защиту металлов от коррозии осуществляют нанесением защитных покрытий, уменьшением агрессивности контактируемой с металлом среды или электрохимическими способами.

*Усталостный износ* наблюдается у деталей, подверженных многократному действию знакопеременных или меняющихся по величине однозначных нагрузок. Под их воздействием во внешних слоях материала деталей возникают касательные напряжения, которые являются причиной образования поверхностных микротрещин. Последние разрастаются и переходят в макротрещины, вызывая разрушение (поломку) детали.

*Абразивный износ* – разрушение поверхностей деталей мельчайшими частицами более твердых материалов – абразивов. В узлах трения приборов абразивами являются частицы металлов и их окислов, отделяющиеся с рабочих поверхностей в процессе их изнашивания: продукты окисления смазок: частицы минералов и металлов, попадающие извне (песок, стружка и др.).

Попадая на поверхность трения, абразивы подвергают их микропластической деформации или срезают с поверхностями тончайшие стружки. Процесс механического разрушения сочетается с интенсивными окислительными процессами, так как при этом разрываются или отделяются поверхностные окислительные пленки.

*Эрозия* – механическое разрушение (размывание, разъедание) поверхностных слоев материала деталей перемещающимися с большой скоростью частицами газообразной, жидкой или твердой среды. Скорость разрушения прямо пропорциональна кинетической энергии движущихся частиц и шероховатости разрушаемой поверхности. Эрозия сопровождается интенсивными окислительными процессами.

*Износ, вызываемый действием высоких температур* (тепловой), характеризуется интенсивной коррозией и образованием трещин, быстро проникающих в толщу металла.

### ***Основные виды работ по техническому обслуживанию и ремонту приборов***

Системой технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) приборов называется совокупность взаимосвязанных средств, документации ТО и Р и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления исправности средств измерения.

Основной задачей «Системы ТО и Р» является сохранение работоспособности приборов при оптимальном сроке их службы за счет своевременного и качественного ТО и Р при минимальных и материальных затратах.

*Плановый осмотр* – вид планового технического обслуживания, выполняемый с целью подготовки к ремонту, проверки состояния всех узлов приборов и получения информации об износе деталей и изменении характера их сопряжений. Выполняется по заранее намеченному плану через установленные нормами «Системы ТО и Р» количество оперативного времени, отработанного приборами. По результатам осмотра могут быть устранены мелкие неисправности.

В процессе эксплуатации приборы подвергаются износу, поэтому постоянно возникает необходимость в их ремонте для поддержания или восстановления производительности и технологической точности. Рациональное техническое обслуживание замедляет процесс износа приборов и сокращает количество отказов и связанные с ними потери основного производства.

О постепенном приближении предельного состояния деталей можно судить по признакам, обнаруживаемым визуально, инструментальными замерами или с помощью специальной аппаратуры (увеличение износа, отдельные повреждения, усталостные трещины и т.д.). Возможность прогнозировать приближение предельного состояния деталей позволяет заменять их профилактически в плановом порядке. Приближение отказа ряда деталей не сопровождается видимыми признаками и не может быть обнаружено до наступления отказа. Замена их возможна только в неплановом порядке по потребности.

Поэтому по способу организации «Система ТО и Р» предусматривает проведение ремонта двух видов: планового и непланового. *Плановый ремонт* – ремонт, постановка приборов на который осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической, документации; *неплановый ремонт* – ремонт, постановка приборов на который осуществляется без предварительного назначения.

По составу ремонт «Система ТО и Р» предусматривает два вида плановых ремонтов: текущий и капитальный. *Текущий ремонт* -ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности приборов и состоящий в замене или восстановлении отдельных частей. *Капитальный ремонт* – ремонт, выполняемый для восстановления паспортных характеристик приборов с заменой или восстановлением любых их деталей и узлов, в том числе и базовых.

К комплексу работ по восстановлению работоспособности оборудования относится также *аварийный ремонт*. Это неплановый ремонт, вызванный низким качеством проектирования, изготовления и ремонта оборудования, а также нарушением правил его технической эксплуатации.

*Техническое обслуживание* – выполняемый комплекс операций, позволяющих поддерживать приборы в их постоянной работоспособности. Целью технического обслуживания приборов является предупреждение их повышенного износа путем обеспечения режимов работы согласно паспортным данным, регулярной и качественной смазки, регулирования, своевременного обнаружения и устранения неисправностей, разработки и внедрения мероприятий, направленных на совершенствование системы ТО.

Операции по ТО оборудования должны проводиться в соответствии с правилами технической эксплуатации приборов, в основном, в нерабочее время работы (во время отдыха рабочего или в его отсутствие).

### ***Методы планирования и организации ремонтов***

*Планирование ремонтов.* Различают несколько методов планирования ремонтов – стандартный, периодический и послеосмотровый.

Метод *стандартных ремонтов* предусматривает проведение ремонта по истечении установленного планом количества часов эксплуатации оборудования, при этом в процессе ремонта производят замену деталей и выполняют другие работы, предусмотренные данным видом ремонта, независимо от степени износа узлов.

Метод *периодических ремонтов* предусматривает проведение плановых ремонтов, требующих продолжительного отключения приборов после завершения предприятием производственного цикла.

Метод *послеосмотровых ремонтов* заключается в том, что даты проведения и объем очередных ремонтов устанавливаются на основании результатов технических осмотров приборов, осуществляемых при межремонтном техническом обслуживании.

*Организация ремонтных работ.* В ремонтных мастерских в зависимости от их технической оснащенности и объема работ используют различные методы организации ремонтных работ или их комбинации.

Метод *индивидуальных ремонтов* заключается в том, что подготовка к ремонтным работам и их исполнение ведутся отдельно по каждому изделию. Ремонтные детали и сборочные единицы изготавливаются по индивидуальным чертежам и заказам и при сборке подгоняются по месту их расположения.

Этот метод неизбежен при единичных ремонтах малораспространенных приборов.

Метод *узлового ремонта* состоит в том, что в процессе выполнения ремонта непригодные и подлежащие восстановлению части и сборочные единицы заменяются исправными из ремонтного фонда.

Метод узлового ремонта является основным при текущем ремонте, так как позволяет значительно сокращать сроки выполнения работ, улучшать их качество, специализировать труд исполнителей.

Метод *поточного ремонта* предусматривает выполнение работ на поточной линии ремонтного предприятия с предельной специализацией рабочих мест, технологического оборудования и оснастки, что обеспечивает наиболее высокую производительность труда. Однако организация поточного ремонтного производства требует значительных капиталовложений и оказывается целесообразной только при больших партиях однородных приборов, поступающих на ремонт.

### ***Ремонтные чертежи***

*Ремонтный чертеж* является конструкторским документом, который разрабатывают на основании рабочих чертежей для изготовления деталей.

На ремонтном чертеже в обязательном порядке должны быть приведены изображение восстановленной детали, технические требования к ней, спецификация ремонтного сборочного чертежа, таблица дефектов с указанием способов их устранения, условия и перечень дефектов, при которых деталь не принимают на восстановление, рекомендуемый основной технологический маршрут восстановления. При необходимости на ремонтных чертежах приводят указания по базированию и таблицы категорийных ремонтных размеров.

В технических требованиях указывают: допустимые отклонения размеров, шероховатость восстановленных поверхностей, разброс твердости, допустимость наличия пор, раковин и отслоений, прочность сцепления нанесенного слоя и других параметров, обусловленных применением того или иного способа, а также допуска расположения поверхностей, которые должны быть выдержаны в процессе восстановления.

Таблица дефектов, располагаемая на поле ремонтного чертежа, содержит: перечень дефектов, при наличии которых деталь подлежит восстановлению, а также указания по величине этих дефектов; коэффициенты повторяемости дефектов: основной и допускаемые способы устранения дефектов.

При восстановлении деталей способами сварки, наплавки, напыления и др. указывают наименование, марку, размеры используемого материала, защитную среду.

Ремонтные чертежи разрабатывают в две стадии: для опытного восстановления (литера РО) и для серийного восстановления деталей (литера РА). На ремонтном чертеже одновременно допускается указывать несколько вариантов восстановления одних и тех же элементов детали с соответствующими разъяснениями. На каждый принципиально отличный вариант восстановления детали (например, на пластическую деформацию, заливку жидким металлом и др.) выполняют отдельный ремонтный чертеж. В обозначение этих ремонтных чертежей добавляют через тире римскую цифру I, II или III (соответственно для первого, второго и последующих вариантов восстановления). При этом первый вариант является основным.

## 4.4. Технология ремонта

### *Схема технологического процесса ремонта*

Схема технологического процесса ремонта разрабатывается для каждого наименования приборов с учетом их конструктивных особенностей. Ниже приводится общий вид схемы капитального ремонта приборов в цехах ремонтного предприятия.

1. Демонтаж на объекте (выполняется при наличии акта на ремонт) и доставка приборов на ремонтное предприятие.
2. Наружная очистка путем обдувки сжатым воздухом и промывки моющим раствором.
3. Дефектация путем внешнего осмотра и апробирования в действии для оценки общего состояния и проверки взаимодействия сборочных единиц.
4. Разборка изделия на сборочные единицы.
5. Дефектация сборочных единиц путем испытаний их на стендах с измерением рабочих характеристик (выполняется по мере необходимости). Сборочные единицы, не требующие ремонта, направляются на участок комплектации.
6. Разборка сборочных единиц на детали.
7. Промывка деталей моющим раствором с последующей сушкой.
8. Дефектация деталей, определение вида и способа их ремонта. При дефектации детали подразделяют на три категории: годные для использования без ремонта (направляются непосредственно на комплектацию или в ремонтный фонд); требующие ремонта (направляются в соответствующие цеха или на участки предприятия с указанием способа ремонта); подлежащие выбраковке ввиду непригодности к ремонту. При дефектации детали обычно маркируют краской соответственно зеленого, желтого и красного цвета.
9. Ремонт деталей, контроль качества ремонта.
10. Промывка и сушка деталей перед сборкой.
11. Комплектование деталей на участке комплектации.
12. Сборка сборочных единиц.

13. Регулировка, испытания и обкатка сборочных единиц.
14. Окраска и сушка сборочных единиц.
15. Сборка изделия.
16. Регулировка, испытания и обкатка изделия.
17. Окраска и сушка изделия.
18. Консервация и сдача изделия на склад готовой продукции.

На всех стадиях технологического процесса службы ОТК контролируют качество выполненных работ.

На основании схемы технологического процесса разрабатываются карта ремонта изделия и операционные карты.

### ***Инструмент и приспособления для проверки и ремонта***

Для выполнения проверки в процессе ремонта наиболее часто применяются следующие универсальные средства измерения и инструменты:

- 1) уровни;
- 2) индикаторы;
- 3) меры длин концевые плоскопараллельные;
- 4) микрометры;
- 5) нутрометры микрометрические;
- 6) глубиномеры индикаторные;
- 7) линейки поверочные;
- 8) угольники поверочные 90°;
- 9) щупы;
- 10) микроскопы инструментальные.

Кроме того, используются многочисленные стандартизированные и нестандартные инструменты, изготавливаемые централизованно для нужд ремонта или предприятиями для собственных нужд.

*Плоскостной поверочный инструмент.* В качестве контрольного инструмента при шабрении и выверке плоскостей используется поверочный инструмент, представляющий собой металлическую (чугунную или стальную) деталь, одна или несколько плоскостей которой обработаны с такой степенью точности и чистоты, что могут служить эталонами при выравнивании изношенных поверхностей ремонтируемого оборудования.

Весь применяемый при ремонте плоскостей инструмент можно разделить на универсальный и специальный. Применяемый в практике ремонта универсальный поверочный инструмент делится на линейки и плиты.

Приспособления для выполнения проверок. Кроме инструмента для выполнения проверок используются специальные приспособления, применяемые для проверки взаимной параллельности, взаимной перпендикулярности, правильности взаимного положения осей (или перемещения узлов), узлов и деталей по отношению к узлам.

Для проверки взаимной перпендикулярности плоскостей детали перпендикулярности плоскости детали к оси узла, взаимной перпендикулярности осей узлов применяется группа приспособлений, разделяющихся на два вида: жесткие приспособления и приспособления с устанавливаемой плоскостью.

К жестким приспособлениям относятся угольники, цилиндрические угольники, кубы. Угольники применяются двух видов: плоские и с широким основанием. Цилиндрический угольник изготавливается из стальной трубы, закаленной и доведенной с точностью до 0.004 мм на всей длине. Преимущество цилиндрического угольника – простота изготовления и ремонта, устойчивость во время работы, жесткость конструкции. Куб представляет собой чугунную отливку. Все его стороны отшлифованы и взаимно перпендикулярны в пределах 0.002 мм на длине 300 мм. Кубом можно пользоваться во всех случаях, когда следует проверить перпендикулярность поверхностей деталей или узлов в горизонтальной или вертикальной плоскостях, а иногда и в обеих плоскостях одновременно.

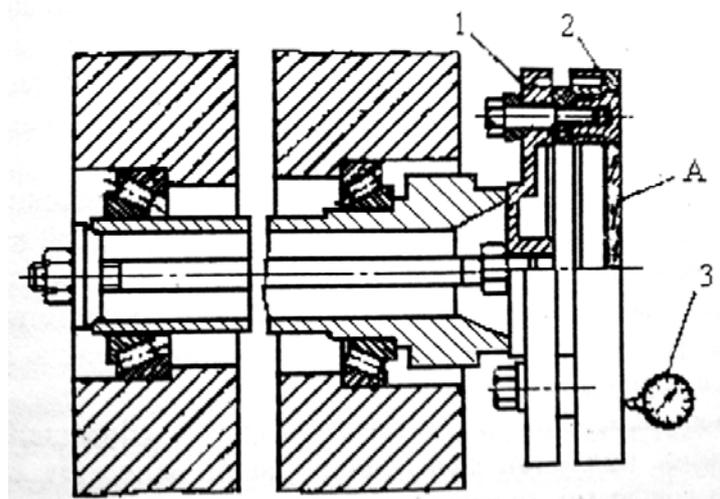


Рис. 26. Приспособление для выверки перпендикулярности:  
1, 2 – алюминиевые шайбы; 3 – индикатор; А – зеркальная поверхность

Приспособления с устанавливаемой плоскостью позволяют материализовать плоскость, перпендикулярную к оси вращения шпинделя или другой детали. Наличие этих приспособлений упрощает сложную задачу выверки перпендикулярности по отношению оси вращения шпинделя. Устанавливаемый диск (рис. 26) состоит из двух алюминиевых шайб 1 и 2, соединенных между собой тремя винтами. В местах соединения шайб поставлены резиновые прокладки. Шайба 1 притягивается струной к торцу шпинделя станка; шайба 2 устанавливается так, что зеркало ее А становится плоскостью, строго перпендикулярной оси вращения шпинделя. Для установки шайбы 2 медленно вращают шпиндель станка. При этом мерительный стержень индикатора 3 показывает величину неперпендикулярности зеркала по отношению к оси вращения шпинделя. Регулированием винтов добиваются такого положения диска 2, при котором неперпендикулярность зеркала А к оси вращения шпинделя (выверяемая по индикатору) не превышает 0,01 мм. Всякая поверхность или направление перемещения узла, параллельные плоскости А, тем самым окажутся перпендикулярными оси шпинделя.

## *Общие сведения о разборке приборов*

Последовательность и способы выполнения сборочных и разборочных операций для каждого прибора указываются в схемах технологического процесса и операционных картах. Схемы сборки могут быть использованы в качестве схем для разборки, если выполнять операции в обратной последовательности.

Для дефектации и ремонта не все сборочные единицы разбирают полностью. Так, не подлежат разборке без особой надобности соединения деталей, выполненные сваркой, пайкой или с применением прессовых посадок, а также соединения неотчетственных деталей, не требующие проверки (штифты, шпильки и резьбовые штуцеры с корпусами и т.п.).

Детали, изменение положения которых в сборочной единице недопустимо, подлежат клеймению. Знаки наносятся стальными клеймами (цифрами, буквами, керном), кислотными или краской. Располагают знаки на смежных деталях таким образом, чтобы при правильной сборке они находились рядом и читались с одной стороны. Обязательному клеймению подлежат невзаимозаменяемые детали, используемые с индивидуальной сборочной подгонкой на месте (притирка, шабрение), а также детали, прирабатывающиеся в процессе эксплуатации механизма и не подлежащие замене при ремонте, например, втулки подшипников скольжения и сопрягаемые с ними шейки валов.

*Специальное оборудование для разборочных и сборочных работ.* В условиях ремонтных цехов разборку приборов и сборочных единиц выполняют на слесарных верстаках, специальных стендах или в кантователях, позволяющих придавать объекту ремонта положение, наиболее удобное для выполнения необходимой операции.

Для разъединения и соединения деталей, имеющих прессовые посадки, используют винтовые и гидравлические съемники, а также прессы различных конструкций.

При разборке прессовых соединений съемником или прессом применяют подкладки из мягких металлов (алюминий, латунь), молотки используют с наконечниками из мягких материалов. Все это предохраняет детали от повреждений.

*Нагрев и охлаждение деталей при разборке и сборке.* Нагреванием охватываемых и охлаждением охватываемых деталей изменяют их сопрягаемые размеры, что значительно облегчает процесс разборки или сборки деталей. В зависимости от требуемой температуры нагрев деталей при сборке осуществляют в машинном масле (до 150...200°), глицерине (до 320...350° С) либо в печи. Нагрев деталей в печи производят в восстановительной атмосфере во избежание образования окислов. При разборке охватываемые детали нагревают, обдувая перегретым паром или поливая горячим маслом. Для углеродистых сталей предельная температура нагрева не должна превышать 450 С.

К охлаждению охватываемых деталей прибегают в тех случаях, когда нагревом охватываемой детали невозможно получить необходимый сборочный зазор или когда нагрев этой детали недопустим. Для охлаждения используют преимущественно сухой лед или жидкий азот.

## *Общие сведения о технологии ремонта*

Детали, вышедшие из строя, в ряде случаев могут быть восстановлены и вновь поставлены в прибор.

Применяются три способа восстановления изношенных деталей:

- 1) восстанавливается геометрическая форма и чистота поверхности (при этом, как правило, изменяются размеры детали);
- 2) изношенные поверхности сначала наращиваются с целью компенсации износа, а затем обрабатываются до номинальных размеров;
- 3) комбинируются оба способа; при этом изношенная поверхность одной детали наращивается с целью компенсации изменения размеров сопрягаемой детали, восстанавливаемой только обработкой. Этот способ восстанавливает также и взаиморасположение деталей.

Кроме изношенных деталей, восстанавливаются также детали поломанные и деформированные.

Для ремонта деталей применяются следующие методы восстановления:

- 1) обработка ручная или механическая (шабрение, опиловка, рубка, точение, строгание, шлифование, фрезерование и т.д.);
- 2) сварка (газовая, жидким металлом, дуговая, электрошлаковая);
- 3) наплавка (дуговая, газовая, электровибрационная, электрошлаковая, плазменная);
- 4) электролитические методы наращивания (хромирование, никелирование, осталивание);
- 5) доотливка отломившихся частей;
- 6) заливка (баббитом, бронзой, эпоксидными составами);
- 7) наращивание самотвердеющими пластмассами;
- 8) электромеханическое увеличение размера;
- 9) изменение конструкции детали (надевание рубашек, гильзование, крепление накладок, вмонтирование хвостовиков, изменение размеров резьбы и т.д.);
- 10) уплотнение выявившихся рыхлот;
- 11) правка.

При выборе метода восстановления деталей большое значение имеет экономическая эффективность. Выгодным представляется тот метод, который полностью восстанавливает техническую характеристику детали, при этом стоимость восстановления ниже стоимости изготовления новой детали, а сроки восстановления короче. Метод изменения размеров поверхностей не всегда приемлем, так как часто влечет за собой необходимость изготовления новой сопряженной детали. В некоторых случаях уменьшение размеров недопустимо из условий прочности. При наращивании изношенной поверхности иногда экономически выгодно увеличить ее против номинального размера с тем, чтобы обработать сопряженную деталь на ремонтный размер. Это дает возможность восстановить обе изношенные детали и их сопряжение.

Значение фактора деформирования детали также велико, так как восстановлению подлежит старая, в подавляющем большинстве случаев обрабо-

танная деталь. Деформация детали, являющаяся следствием выполнения операции восстановления, может вывести деталь из строя в результате изгиба оси или изменения размеров рабочих поверхностей, сопряженных с поверхностями восстанавливаемой детали.

### ***Восстановление деталей посредством пластической деформации***

Одним из наиболее распространенных способов восстановления является способ, основанный на пластическом деформировании изношенных деталей с последующей (в случае необходимости) механической обработкой.

При воздействии внешней силы деталь деформируется, т.е. изменяется ее форма и размеры. После снятия внешней силы деталь частично приобретает прежнюю форму и размеры. Ту часть деформации, которая не восстанавливается, называют остаточной, или пластической.

Способ основан на принудительном местном перераспределении металла самой детали, в результате чего на ее ремонт не требуется дополнительного металла. При деформации нагрузки на детали превышают 500...800 МПа. Для облегчения пластического деформирования деталь предварительно нагревают. Так, например, при нагреве до температуры 900 °С давление на деталь можно снизить до 50... 60 МПа.

Детали правят с помощью прессов и домкратов. Хорошие результаты даст правка деталей местным наклепом (рис. 27), который создает напряжения сжатия, деформирующие деталь в направлении, совпадающем с направлением наносимого удара.

Осадкой (рис. 27, б) увеличивают диаметр деталей типа пальцев и втулок из цветных металлов за счет некоторого уменьшения их длины. Этим способом можно уменьшить длину деталей до 15 %, однако ответственные детали не уменьшают больше чем на 4...8 %. При осадке направление действия внешней силы  $P_d$  перпендикулярно к направлению деформации  $\delta$ . В смазочные канавки втулок перед осадкой закладывают стальные вставки.

Раздачей (рис. 27, в) увеличивают наружный диаметр деталей пустотелых валов и втулок при незначительном изменении их длины. Для увеличения внутреннего отверстия детали через него проталкивают шарик или пуансон с большим, чем у отверстия детали, диаметром.

Обжатием (рис. 27, г) уменьшают внутренние размеры деталей втулок, изготовленных из цветных металлов. Втулку прогон пуансоном через установленную в подставке матрицу. Входное отверстие матрицы сужается под углом 7...8°, далее идет калибрующая часть, которая заканчивается выходным отверстием, расширяющимся под углом 18...20°. После обжатия наружную поверхность втулок протачивают, а внутреннюю развертывают.

Вытяжкой (рис. 27, д) увеличивают длину деталей за счет местного уменьшения их поперечного сечения. При вытяжке направление деформации перпендикулярно направлению действия внешней силы.

Вдавливанием (рис. 27, е) увеличивают наружные размеры детали за счет ее деформации на ограниченном участке. Этим способом восстанавливают работоспособность шлицевых поверхностей деталей типа валов. Шли-

цы прокатывают по направлению их продольной оси заостренным роликом, который внедряется в металл и как бы разводит шлиц на 1,5...2,0 мм в сторону.

Накатка (рис. 27, ж) основана на вытеснении рабочим инструментом (шариками или роликами) материала с отдельных участков изношенной поверхности детали и позволяет увеличивать диаметр накатываемых деталей на 0,3...0,4 мм. Накатке подвергают детали без термической обработки. Обработанная таким образом поверхность пригодна для посадок.

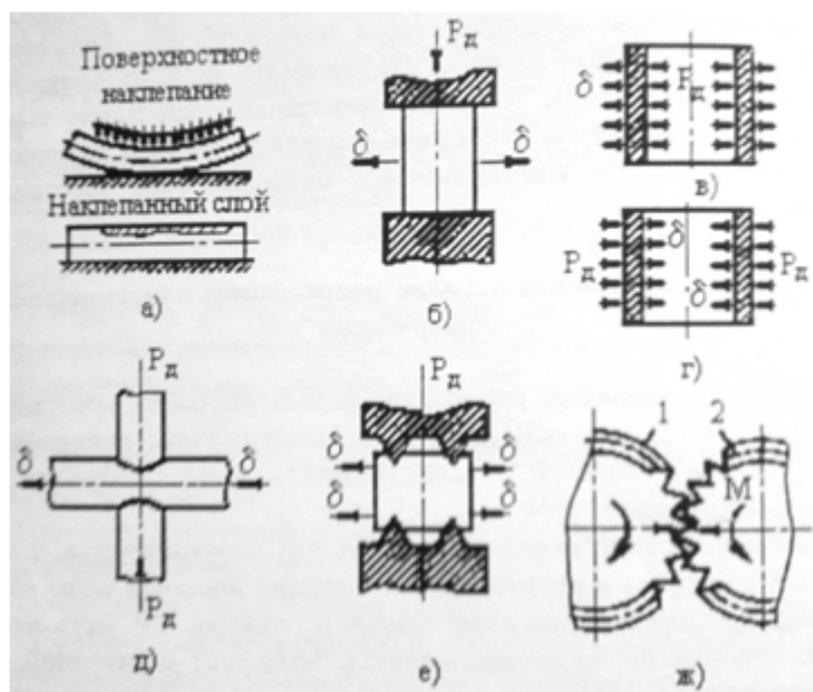


Рис. 27. Схемы восстановления деталей давлением:  
1 – накатываемая деталь; 2 – ролик.

*Электромеханическая обработка деталей* заключается в искусственном нагреве металла электрическим током в зоне деформации.

При включении резца и детали в электрическую цепь в зоне резания будет выделяться теплота, металл нагревается до 800...830° С. Такой нагрев повышает пластические свойства металла и облегчает резание. Схема электромеханической обработки приведена на рис. 28.

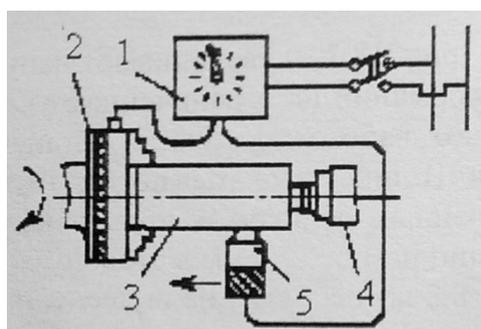


Рис. 28. Схема электромеханической обработки:  
1 – трансформатор; 2 – патрон; 3 – деталь; 4 – задняя бабка; 5 – инструмент

При нагреве используют трансформатор, со вторичной обмотки которого можно получить ток 1000А при напряжении 0,2...2 В.

Этот способ дает возможность обрабатывать закаленные детали и детали, наплавленные твердыми сплавами. Обработанная электромеханическим способом поверхность детали обладает большей износостойкостью, чем деталь, полученная без электроподогрева.

Электромеханическим способом можно восстанавливать неподвижные сопряжения. Процесс состоит из двух операций (рис. 29): высадки металла и сглаживания выступов до необходимого размера.

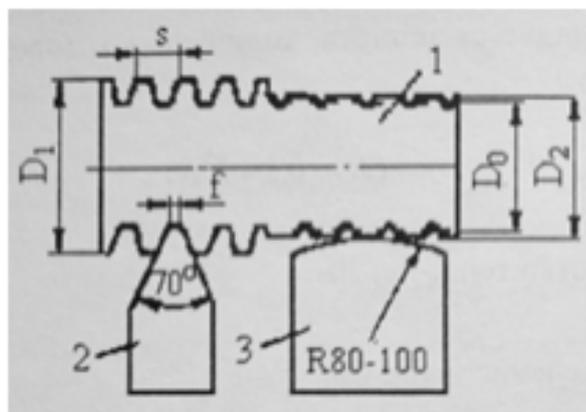


Рис. 29. Схема электромеханической высадки и сглаживания деталей при ремонте неподвижных сопряжений:

1 – деталь, 2 – высаживающая пластина; 3 – сглаживающая;  $D_0$  – диаметр изношенной детали;  $D_1$  – диаметр детали после высадки;  $D_2$  – диаметр детали после сглаживания

Металл высаживают твердосплавной пластикой с углом в плане равным  $70^\circ$ . Подача  $f$  должна быть в 3 раза больше контактной поверхности  $f$  пластинки. Сглаживание выступов выполняют закругленной пластинкой. Радиус закругления составляет 80... 100 мм; ширина пластинки в 3...5 раз больше подачи. При этом способе увеличивается твердость контактной поверхности и повышается износостойкость восстановленных сопряжений.

### ***Восстановление чистоты поверхности детали. Замена сборочных единиц и деталей при ремонте***

Мелкие неисправности, выявленные на деталях механизмов во время дефектации и зафиксированные в ведомости дефектов, должны быть устранены во время ремонта.

Заусеницы, забоины, грубые риски, надирь и царапины зашлифовывают надфилем, не допуская резких переходов, и зачищают шкуркой с зернистостью 5...8. Съем металла должен быть минимальным. Продукты зачистки удаляют, протирая обработанные поверхности салфеткой, смоченной в бензине.

Забоины на резьбе болтов, винтов, шпилек, гаек устраняют, калибруя резьбу плашками или метчиками. На крепежных деталях, направляемых на сборку, обычно допускают срыв одной-двух нерабочих ниток резьбы; в этом случае заход резьбы аккуратно выправляют надфилем для обеспечения легкого наживления сопрягаемой резьбовой детали. Если в результате ремонта гальваническое покрытие резьбовых деталей значительно повреждается, покрытие восстанавливают.

Коррозия, обнаруженная на деталях, может быть удалена механическим или химическим способом. *Механическое удаление коррозии* осуществляется путем зачистки пораженных коррозией мест до основного металла с последующим удалением продуктов зачистки салфеткой, смоченной в бензине. Затем детали обдувают сжатым воздухом.

*Удаление коррозии со стальных деталей химическим способом* начинают с тщательного обезжиривания мест с коррозией и прилегающих участков поверхности с помощью салфетки, смоченной в бензине. Протирают обезжиренные места сухой салфеткой. Затем предохраняют от действия кислоты прилегающие участки поверхности, нанося на них сплошной тонкий слой нитролака. Деталь сушат в течение 30...40 мин. Многократно протирая дефектное место тампоном, смоченным кислотой с ингибитором ПБ-5, протравливают поверхность детали, удаляя с нее коррозию. В качестве травящей жидкости применяют 50...60%-ный раствор ПБ-5. Ингибитор замедляет процесс растворения железа, практически не снижая растворимость ржавчины. Удалив продукты коррозии, промывают протравленную поверхность чистой водой с помощью ватного тампона. Нейтрализуют травленную поверхность 10%-ным раствором пищевой соды с помощью ватного тампона и осушают поверхность сухой салфеткой. С окружающих участков поверхности удаляют нитролак ватным тампоном, смоченным смывкой СД или СП. Травленную поверхность протирают кусочком фетра, затем салфеткой, смоченной в бензине и хорошо отжатой.

Непосредственно после устранения неисправностей и удаления коррозии необходимо защитить обезжиренные поверхности от атмосферных воздействий. На свободные поверхности деталей наносят слой грунтовки (ГФ-031, АК-070) или восстанавливают всю систему лакокрасочного покрытия. На трущиеся поверхности деталей, работающих в смазке, наносят слой используемой в механизме рабочей смазки.

Кожухи, колпаки, крышки из листового материала с вмятинами подвергают правке. Правку производят рихтовочным молотком, начиная с середины вмятины и постепенно передвигаясь к краям. Деталь укладывают на твердую резиновую подставку или надевают на оправку, кривизна которой близка к кривизне детали. После правки зачищают шкуркой места с нарушенным покрытием, обезжиривают поверхности и восстанавливают покрытие, используя грунтовки и эмали, предусмотренные чертежом детали.

На все отремонтированные и признанные пригодными для сборки детали механизмов наносят клеймо.

От качества комплектования, являющегося предварительной операцией процесса сборки отремонтированного механизма, зависит надежность механизма и производительность труда сборщиков. Под комплектованием понимают обеспечение производительной сборки изделий в соответствии с техническими условиями и чертежами работы по подбору сборочных единиц и деталей, а также материалов, составляющих механизм. На сборку поступают частично изношенные детали; восстановленные детали и сборочные единицы; новые детали и сборочные единицы, взятые из комплекта запасных частей; детали, вновь изготовленные на ремонтном предприятии; готовые изделия (микровыключатели, соединители, шарикоподшипники и т.д.); материалы (провода, изоляционные трубки, смазки, клеи, грунтовки, эмали и т.д.). Такое разнообразие элементов предопределяет необходимость в проведении проверок и подбора в процессе комплектования. Поскольку при ремонте стремятся к максимально возможному использованию сборочных единиц и деталей ремонтируемого механизма, то за счет подбора деталей с соответствующими действительными размерами или за счет изготовления деталей с ремонтными размерами удается в большинстве случаев избежать замены дорогостоящих деталей и сборочных единиц.

При комплектовании подлежат замене детали одноразового применения, а также сборочные единицы, детали и готовые изделия с ограниченным ресурсом. Перечни таких элементов приводятся в Руководствах по ремонту конкретных механизмов. Проведение замены указанных элементов имеет целью обеспечить безотказную отработку механизмом назначенного после ремонта ресурса.

### ***Наращивание изношенных поверхностей и склеивание***

*Металлизацией* называется процесс нанесения на поверхность детали распыленного расплавленного металла.

Расплавленный металл распыляется струей сжатого воздуха, сообщая мельчайшим его частицам кинетическую энергию. Благодаря этому они с большой скоростью ударяются о предварительно подготовленную поверхность детали. При ударе о твердую поверхность частицы, будучи в пластичном состоянии, деформируются и сцепляются с ней. Последующие слои сцепляются с предыдущими, и так до прекращения процесса.

Аппарат, обеспечивающий расплавление металла, распыление его и доставку к поверхности восстанавливаемой детали, называется металлизатором. Аппарат (рис. 30) действует следующим образом. С помощью протяжных роликов по направляющим наконечникам непрерывно подаются две проволоки 1, к которым подведен электрический ток. Возникающая между проволоками электрическая дуга расплавляет металл. Одновременно по воздушному соплу в зону дуги поступает сжатый газ под давлением 0,6 МПа.

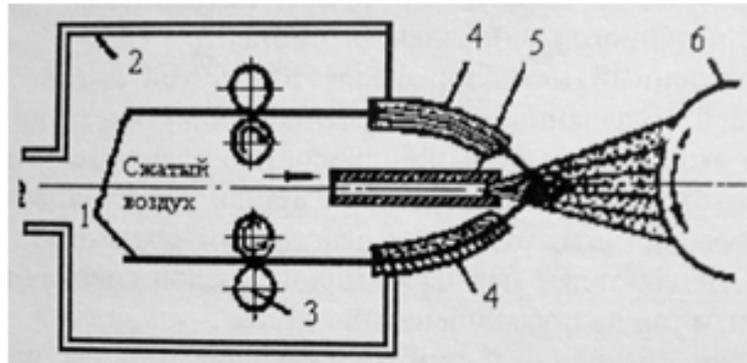


Рис. 30. Схема работы металлизатора:

1 – электродная проволока; 2 – провода от трансформатора; 3 – ролики; 4 – направляющие; 5 – сопло; 6 – деталь

Металлизация не вызывает деформации восстанавливаемой детали. Лучше всего восстанавливать стальные и чугунные детали, работающие на трение при спокойной нагрузке без значительных ударов с окружной скоростью вращения восстанавливаемых шеек до 25 м/мин. Нарастиваемый металлизацией слой может иметь толщину в пределах от 1,5 до 12 мм. Материалом для наращивания стальных и чугунных деталей служит стальная проволока. Слой металла, полученный металлизацией, представляет собой губчатую массу с заметными порами, довольно активно впитывающий масло.

Для получения хорошего сцепления наносимого слоя металла с основным важно правильно провести подготовку. Она заключается в очистке поверхности детали от жира, грязи, влаги, окислов и т.д. и создании шероховатости поверхности  $R_a 0,16$ . Очистка поверхности детали от загрязнений производится химическими растворителями, песком или дробью; создание нужной шероховатости достигается механической обработкой или другими методами.

Перед металлизацией чугунных деталей следует удалить с них масло, впитавшееся в верхний слой металла. Эффективным методом удаления масла является выжигание его огнем горелки. При восстановлении тел вращения наилучшей подготовкой является проточка и нарезка резьбы.

Металлизированная поверхность хорошо работает на износ. При металлизации возможно создание антифрикционных пар трения. Для этого применяется алюминий, медь, свинец, латунь в различных сочетаниях или в сочетании со сталью. Эти металлы подаются в металлизационный аппарат в виде двух проволок, плавятся в нем и распыляются аппаратом в виде мельчайших частиц (пылинок), которые, смешиваясь, образуют так называемый псевдосплав. Такой антифрикционный слой может успешно работать со стальными вкладышами.

Основным недостатком металлизации является хрупкость нанесенного слоя металла, вследствие чего он плохо работает при ударах и знакопеременных нагрузках. Кроме того, металлизированный слой, нанесенный на поверхность детали, не повышает ее прочность. Поэтому применять металлизацию для восстановления деталей с ослабленным сечением не следует. При восстановлении деталей, находящихся под воздействием динамических нагрузок, а также деталей, работающих при трении без смазочных материалов,

необходимо учитывать, что сцепляемость напыленного слоя с основным металлом детали недостаточна.

*Хромирование* – это наращивание слоя хрома на поверхности детали методом гальваностегии. Оно широко применяется при ремонте. Хромирование используют для увеличения износостойкости, твердости, химической стойкости и прирабатываемости, обеспечения трения со смазочным материалом, восстановления размеров изношенных деталей, а также для декоративных целей. Осадки хрома различают по внешнему виду и по физическим и механическим свойствам. Для улучшения связи хромовых покрытий с поверхностью деталей и получения химически стойких покрытий наращивание хрома часто осуществляют на подслое из других металлов.

Хромирование основано на осаждении металлического хрома на поверхность из раствора, содержащего ионы хрома, под действием постоянного тока при определенном напряжении. Хромирование деталей осуществляется в ваннах, наполненных растворами хромового ангидрида и серной кислоты, в которые на определенном расстоянии друг от друга погружены деталь, контактирующая с отрицательным полюсом и называемая катодом, и свинцовая пластина, контактирующая с положительным полюсом и называемая анодом. Раствор подогревают до температуры 40...60° С.

Качество хромового покрытия, в основном, зависит от состава электролита, плотности тока, температуры электролита и интенсивности его перемешивания в ванне. Изменяя указанные элементы технологического процесса и время осаждения, получают покрытия разной толщины с различными физико-механическими свойствами и равномерностью.

Если через цепь свинцовая пластина – раствор хромового ангидрида и серной кислоты – покрываемая деталь (анод – электролит – катод) пропустить постоянный электрический ток определенной силы и напряжения, то на поверхности детали будет осаждаться слой металлического хрома, за счет которого изменится ее размер. Покрытие хромом увеличивает сроки службы трущихся поверхностей, так как он хорошо работает на истирание. Применение хромирования ускоряет ремонт и улучшает его качество. Хромирование не деформирует наращиваемые детали. Однако следует иметь в виду, что у деталей, покрытых электролитическим хромом, уменьшается (до 20%) усталостная прочность.

Для восстановления трущихся поверхностей рекомендуется применять пористое хромирование, что способствует удержанию смазки.

Для неподвижных соединений применяют гладкое хромирование. Слой хрома на трущихся поверхностях следует оставлять (после шлифования) не более 0,07...0,1 мм.

*Химическим никелированием* называется процесс покрытия поверхностей изделий никелем, осаждение которого получается вследствие его химического восстановления из растворов, содержащих никелевые соли. Химическое никелирование дает твердые осадки из сплава никеля (92%) с фосфором (7%). Такое покрытие после осаждения имеет твердость 500 НV.

Химическое никелирование производят в растворах, в состав которых входят в разных соотношениях (в зависимости от рецепта) хлористый ни-

кель, гипофосфорит натрия, оксиацетат натрия или ацетат натрия, лимоннокислый натрий, сернокислый никель. Температура раствора 98...99 С. Скорость осаждения никеля 2...25 мкм/ч.

Поверхности деталей перед химическим никелированием должны быть очищены от окалины и ржавчины, обезжирены, а непосредственно перед погружением в ванну – продекопированы.

На деталях, работающих в условиях высоких температур, и в особенности – подвергающихся при этих температурах абразивному износу, наносить никелевые покрытия химическим способом не рекомендуется, так как твердость покрытия при высоких температурах (выше 400 °С) понижается.

Сплав никеля с фосфором, получаемый при химическом никелировании, хорошо притирается.

Сущность *железнения*, или *осталивания*, в общем, сходна с другими гальваническими процессами. Электролитами здесь служат водные растворы солей железа, в качестве анодов применяют стальные пластины, катодом является осталиваемая деталь. Железнение дает возможность нарастить слой 1...2 мм.

В настоящее время в промышленности внедряется *твердое осталивание*, при котором наращивается твердое железо и сплавы железо-никель и марганец-никель. Электролитом для твердого осталивания служит подогретый до 75...80 °С раствор хлористого железа. Для получения сплавов в электролит добавляется хлористый никель, хлористый марганец. Покрытие имеет твердость до 800 НV (твердость измеряется прибором ПМТ-3). Такая твердость позволяет использовать восстановленные детали для работы в парах трения. Оптимальная толщина наращиваемого слоя при твердом осталивании – 0,3..0,4 мм.

Преимущество процесса железнения – относительная дешевизна и высокая производительность.

Основа процесса *газопламенного нанесения* – пластификация порошка в высокотемпературном источнике тепла (ацетиленокислородном пламени) и нанесение его газовыми потоками на предварительно подготовленную изношенную поверхность.

Преимущества газопламенного нанесения состоят в высокой производительности процесса, локальности обработки, незначительном влиянии на подложку, возможности нанесения покрытия на изделия больших размеров, отсутствии ограничения на сочетания материалов покрытия и подложки, что позволяет охватить большую номенклатуру восстановления изношенных деталей.

Технологический процесс газопламенного нанесения состоит из трех этапов:

- 1) нагрева поверхности детали до 200...250 °С;
- 2) нанесения подслоя, который дает основу, необходимую для наложения основных слоев;
- 3) нанесения основных слоев, позволяющих получить покрытия с необходимыми физико-механическими свойствами.

К основным факторам, влияющим на прочность сцепления покрытия с основой, относятся: способ подготовки поверхности и используемый при этом абразивный материал; время выдержки после обработки; наличие предварительного подогрева; применение подслоя; способ распыления; эффективная мощность пламени; параметры процесса распыления; состав материала покрытия (наличие поверхностно-активных добавок в покрытии зависит и от применяемого оборудования, и от присадочных материалов).

Основой конструкции аппаратов для напыления и горелок для наплавки является базовая схема сварочной горелки. Сварочная горелка (рис. 31) служит для смешивания горючего газа с кислородом и получения газового пламени.

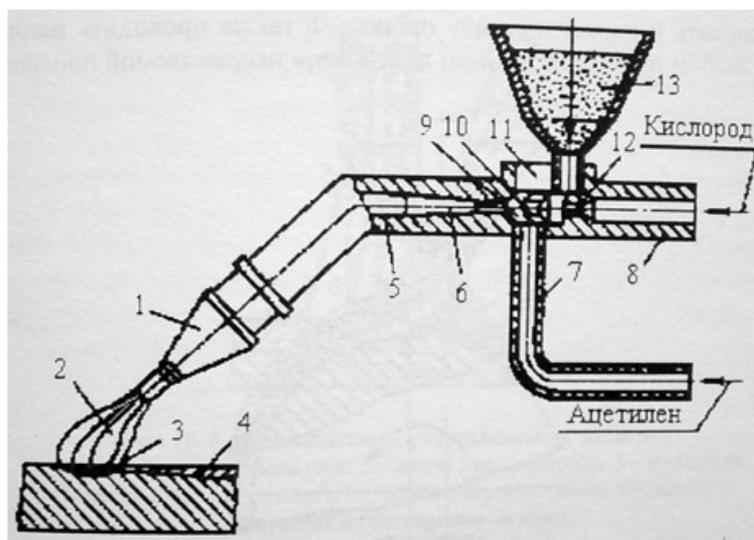


Рис. 31. Устройство сварочной горелки:

1 – мундштук; 2 – пламя; 3 – сварочная ванна; 4 – направляемая поверхность; 5 – трубка; 6 – канал; 7 – ацетиленовая трубка; 8 – кислородная трубка; 9 – камера смешения; 10, 12 – инжекторы; 11 – смесительная камера; 13 – порошок.

*Наплавка* по сравнению с другими способами восстановления дает возможность получать на поверхности деталей слой необходимой толщины и нужного химического состава, высокой твердости и износостойкости.

*Наплавка под слоем флюса.* При такой наплавке в зону горения дуги (рис. 32) подают сыпучий флюс, состоящий из отдельных мелких крупиц (зерен). Под воздействием высокой температуры часть флюса плавится, образуя вокруг дуги эластичную оболочку, которая надежно защищает расплавленный металл от действия кислорода и азота. После того как дуга переместилась, жидкий металл твердеет вместе с флюсом, образуя на наплавленной поверхности ломкую шлаковую корку.

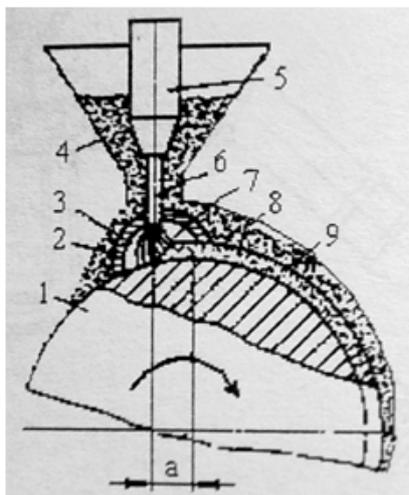


Рис. 32. Схема автоматической наплавки:

1 – наплавляемая деталь; 2 – оболочка жидкого флюса; 3 – эластичная оболочка; 4 – бункер с флюсом; 5 – мундштук; 6 – электрод; 7 – электрическая дуга; 8 – шлаковая корка; 9 – наплавленный металл; а – смещение с зенита.

*Наплавка в среде углекислого газа.* Этот способ отличается от других способов восстановления деталей тем, что здесь не нужно флюсов. Дуга между электродом и наплавляемым изделием горит в струе газа, вытесняющего воздух из плавильного пространства и защищающего расплавленный металл от воздействия кислорода и азота.

Автоматическая наплавка в среде углекислого газа имеет преимущества: при наплавке отсутствуют вредные выделения и шлаковые корки; открытая дуга дает возможность наблюдать и корректировать процесс, а также проводить наплавку при любом пространственном положении наплавляемой плоскости.

*Дуговая наплавка с газопламенной защитой.* Способ позволяет наплавлять на детали плотный слой, применяя доступные и относительно дешевые углеродистые проволоки. Металл, наплавленный высокоуглеродистыми проволоками на стальные детали, хорошо воспринимает закалку. Можно также наплавлять стальной низкоуглеродистой проволокой на чугунные детали. Наплавленный слой в этом случае обладает хорошей обрабатываемостью.

Особенностью способа является то, что защитные газы в сварочную зону подаются двумя концентричными (рис. 33) потоками: в наружном потоке – природный газ, а во внутреннем – кислород. При этом природный газ и продукты его сгорания защищают сварочную зону от проникновения азота из воздуха. Однако углеводородный газ вызывает при сварке обильную пористость. Вредное влияние газа на плотность направленного металла подавляется кислородом, который подается узким внутренним потоком в зону дуги.

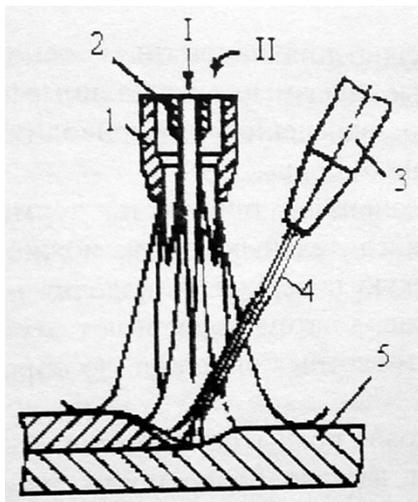


Рис. 33. Схема наплавки с газопламенной защитой:

1 – сопло для природного газа; 2 – сопло для кислорода; 3 – мундштук; 4 – проволока; 5 – деталь; I, II – подача соответственно кислорода и природного газа (пропан-бутана).

*Плазменное напыление* состоит из твердой тугоплавкой основы и легкоплавкой связки.

Плазменные покрытия используют для создания износостойких слоев на рабочих поверхностях деталей, подверженных трению. Состав композиций подбирают, исходя из общей оценки условий работы поверхности, в том числе с учетом возможности отвода теплоты, свойств сопрягаемых материалов трущейся пары, требований к качеству поверхности и точности ее начальных размеров и т. п.

Сущность метода состоит в бомбардировке обрабатываемой поверхности частицами порошка, разогретыми до пластического состояния. Передачу тепловой и кинетической энергий частицам порошка осуществляют *плазменным* (за счет введения порошковых материалов в плазменную струю) и *газопламенным* (с введением порошков в газовую смесь) способами.

Недостатками плазменнонапыленных покрытий являются низкая прочность сцепления с основой, адгезионная прочность и термостойкость покрытия, что связано с различными коэффициентами температурного расширения покрытия и основы. Обладая значительной пористостью, плазменнонапыленные покрытия не защищают поверхность от окисления, что приводит к ускоренному разрушению (отслаиванию) покрытия.

Увеличить адгезионную прочность, термостойкость и стойкость покрытия в окислительных средах можно следующим способом. На металлическую поверхность изделия наносят напылением порошковое покрытие, а затем подвергают эту поверхность азотированию любым из известных способов до образования нитридной прослойки.

Так как порошковое покрытие пористое, то оно не препятствует диффузии атомов азота к поверхности защищаемого металла. Наоборот, за счет усиления адсорбционных и абсорбционных процессов ускоряется насыщение поверхности азотом и образование на ней нитридов тех элементов, которые входят в состав защищаемого металла (железа, хрома, вольфрама, титана, алюминия и др.). Поскольку нитриды имеют плотность, меньшую, чем ме-

таллы (плотность оксидов –  $3...5 \text{ г/см}^3$ , а плотность стали –  $7,8 \text{ г/см}^3$ ), то при образовании нитриды заполняют микропоры порошкового покрытия, увеличивая тем самым сцепляемость по типу механического зацепления. Одновременно повышается термостойкость покрытия, так как образовавшиеся нитриды играют роль прослойки с коэффициентом термического расширения, близким к порошковым материалам на основе оксидов. Нитридная прослойка обеспечивает также коррозионную стойкость защищаемого металла.

*Эпоксидные составы* применяются как масса для футеровки внутренних поверхностей цилиндров, работающих с манжетами в условиях невысокой температуры. Восстановление таким методом может повторяться неоднократно. Нарращивание производится на токарном станке центробежным способом. Для восстановления в размер (без последующей обработки) станок должен быть точным. Деталь, подлежащая наращиванию, должна быть тщательно промыта и обезжирена; желательно, чтобы поверхность имела шероховатость  $R_z 40...80 \text{ мкм}$ . С обоих торцов детали ставят заглушки. Заглушки должны быть предохранены от прилипания смол, для чего их покрывают тонким слоем масла или приклеивают пленки полихлорвинила. Восстанавливаемая деталь устанавливается на станок. Если для принятого состава необходима определенная температура, то деталь подогревают с помощью электрического прибора. Эпоксидный состав, предварительно приготовленный и подогретый, заливается внутрь цилиндра через воронку, вставленную в отверстие заглушки. Число оборотов детали зависит от размера внутреннего диаметра цилиндра и используемого состава смолы. Нарращиваемый слой может иметь толщину  $0,5...5,0 \text{ мм}$ . Оптимальный слой наращивания –  $2...3 \text{ мм}$ .

Для наращивания изношенных поверхностей применяются пластмассы на основе акриловых смол – *акрипласты*, которые представляют собой самоотверждающиеся пластмассы, принимающие нормальную твердость при комнатной температуре и атмосферном давлении. Благодаря своим хорошим технологическим и эксплуатационным качествам они заняли в последние годы ведущее место среди материалов, используемых для восстановления изношенных поверхностей многих базовых и корпусных деталей. Пластмасса составляется из порошка (полимера) и жидкости (мономера) путем их смешения. При этом образуется жидкая, довольно текучая, быстро затвердевающая масса. Акрипласты обладают достаточной твердостью, хорошо работают на истирание, надежно сцепляются с грубо обработанной поверхностью деталей. При толщине наносимого слоя в  $3...4 \text{ мм}$  легко обрабатываются, не реагируя на минеральные масла.

Приготовление акрипластов для наращивания поверхностей заключается в смешивании порошка и жидкости в соотношении от  $1:0,75$  до  $1:2$ . Смешивание должно вестись в чистой посуде до получения однородной массы в стадии набухания (когда в массе начинают появляться тянущиеся нити). Массу следует готовить непосредственно перед заливкой, когда восстанавливаемые детали уже подготовлены. Заливаемые поверхности должны быть обезжирены (ацетоном, спиртом, бензином, мономером). При механической обработке поверхности под заливку следует обработать с чистотой  $R_a$

=0,16 мкм. Рекомендуется также на обезжиренной поверхности углом режущей кромки зубила делать насечку (в виде запятых). В ответственных случаях у края детали просверливают отверстия, которые должны заполнить заливаемая масса. Когда имеется опасность появления значительных сдвигающих усилий, на кромке детали просверливают и нарезают отверстия (резьба М6, М8), в которые ввинчивают бронзовые шпильки. Концы шпилек после заливки поверхности должны утопать на 1...1,5 мм. На больших поверхностях шпильки устанавливают в шахматном порядке в два или три ряда.

Применение *клеев* при ремонте оборудования все расширяется. Они используются для создания неразъемных соединений деталей из металла или из металла и других материалов. Клеем можно восстановить неподвижную посадку, а клеевые пасты (с наполнителями) используются для заделки задиров, склеивания трещин, вклейки вставок, приклейки накладок из пластмасс.

Из известных в настоящее время клеев наиболее перспективными для ремонта являются *эпоксилаты* – композиционные пластмассы, изготавливаемые на основе эпоксидных смол. Их основой служат смолы ЭД-5, ЭД-6, ЭД-40, ЭД-41. В композицию входят также различные отвердители, пластификаторы и наполнители. Пластификатор уменьшает хрупкость и повышает ударную вязкость композиции. В качестве отвердителей используется малеиновый ангидрид, полиэтиленполиамин и др. Наполнители выравнивают коэффициент термического расширения клея.

Подготовка поверхностей под склеивание заключается в очистке их обычными способами от грязи и масла и в грубой обработке. Склеиваемые поверхности должны плотно прилегать друг к другу. Склеенные детали должны выдерживаться при комнатной температуре 24 ч. Подогрев склеиваемых деталей ускоряет процесс полного отверждения клея: при подогреве до 60 °С достаточно 5 ч выдержки, при подогреве до 120 °С – 2 ч.

Большое распространение для ремонта имеет и *карбинольный клей*. Он готовится из карбинольного сиропа и перекиси бензоила в соотношении 100:3. Если к клею прибавить цемент или технический тальк в количестве 50... 100% вес. ед. карбинольного сиропа получится карбинольный клей – цемент.

Наряду с карбинольным клеем применяются универсальные и БФ-2 и БФ-4. Эти клеи затвердевают быстрее карбинольного. Для окончательного затвердевания склеенные детали должны быть подогреты до температуры 140...160 °С. Прочность соединений, обеспечиваемая клеями типа БФ, несколько ниже, чем прочность соединений, полученных карбинольным клеем.

Кроме перечисленных клеев, в ремонтной практике применяются клеи ВС10Т и ВС350. Эти клеи обладают хорошей адгезией к металлам, неметаллическим материалам и, кроме того, весьма теплостойки.

### *Изменение конструкции деталей*

В ряде случаев восстановление изношенной детали возможно лишь при условии изменения ее первоначальной конструкции. Такие изменения возможны, если они не ухудшают работу детали, узла и прибора в целом.

*Надевание «рубашек».* Нарушенное сопряжение можно восстановить путем надевания на изношенную поверхность детали так называемых рубашек. Бели из условий прочности это допустимо, изношенная поверхность протачивается на меньший размер, и на эту поверхность насаживается втулка – рубашка, изготавливаемая обычно из стали. Перед напрессовкой рубашку нагревают в масляной ванне. Толщина стенки рубашки и натяги должны быть такими, чтобы при насадке не оставались остаточные деформации. Крепление рубашек осуществляют либо путем установки болтов и штифтов, либо обваркой ее с торцов. Допустимо приклеивание рубашек.

*Гильзование.* Геометрическую форму и размеры изношенных цилиндрических отверстий в деталях восстанавливают растачиванием с последующей установкой гильз (втулок). Этот метод применяется тогда, когда толщина стенок детали достаточна для растачивания без нарушения ее прочности и жесткости. Втулки могут быть изготовлены из стали, чугуна и цветных металлов. Они закрепляются стопорными винтами или ставятся на клею. В отдельных случаях втулки приваривают по торцам. Для облегчения установки гильзы (втулки) и обеспечения необходимого натяга применяют охлаждение или нагрев охватываемой детали.

*Применение накладок.* Для компенсации износа трущихся плоскостей применяют накладки. Для этого ремонтируемую поверхность обрабатывают на размер, компенсирующий износ и минимальную толщину накладки. В качестве накладок могут быть использованы различные металлические и неметаллические материалы: сталь, чугун, бронза, текстолит, капрон и т.д. Накладки могут крепиться винтами или приклеиваться. Накладки в большинстве случаев улучшают конструкцию, так как выполняют роль компенсаторов износа, а при очередном ремонте упрощают восстановление узла. Капрон, акрипласты, бронза работают на трение по чугунным направляющим при обычной смазке лучше, чем чугун основной детали, т.е. удлиняют срок службы узла. Кроме того, накладки применяются в качестве крепящих деталей, когда необходимо связать воедино деталь, получившую трещину, или деталь, у которой отломилась какая-то часть. Деталь с трещиной может быть таким образом предохранена от дальнейшего разрушения. В ряде случаев механическое крепление накладкой или планкой восстанавливает на длительное время работоспособность ответственной дорогостоящей детали.

*Восстановление резьб.* В чугунных деталях восстановление крепежных резьб можно производить только заменой данной резьбы другой, большей по размеру. При этом, если новая резьба имеет тот же шаг, что и исправляемая, отверстия иногда не рассверливают, а лишь нарезают резьбу метчиком следующего размера. Если же шаг резьбы следующего размера не совпадает с шагом ранее нарезанной резьбы, отверстие приходится рассверливать, а затем нарезать новую резьбу. В стальных деталях резьба не выкрашивается, поэтому ее часто исправляют прорезкой с помощью метчика того же размера. Когда этого недостаточно, приходится применять такие же методы, как в чугунных деталях, или заваривать отверстие электросваркой, а затем просверливать новое отверстие и нарезать резьбу. Если же все описанные выше методы почему-либо неприменимы, приходится сверлить отверстия и нарезать

резьбу в других местах, заглушив или заварив (а иногда и оставив) старые резьбовые отверстия.

### *Применение сварки при ремонте*

При ремонте приборов получили распространение следующие виды сварки: 1) дуговая; 2) газовая; 3) сварка трением встык.

*Дуговая сварка.* Дуговая сварка успешно применяется для восстановления как стальных, так и чугунных деталей. Она выполняется чаще всего путем расплавления электрода и металла свариваемого изделия теплом электрической дуги, температура которой достигает  $6000^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, в месте сварки создается ванночка с жидким металлом, который, охлаждаясь, соединяет воедино края свариваемых поверхностей. При подготовке свариваемых деталей или при подготовке к заварке трещин необходимо выполнить так называемую разделку. Схемы подготовки кромок к сварке приведены на рис. 34.

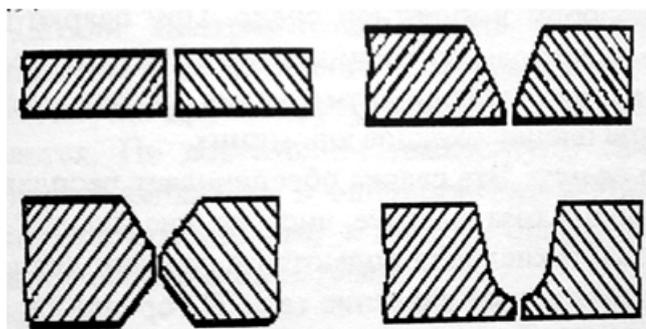


Рис. 34. Формы кромок деталей, подготовленных к сварке.

Поверхности свариваемых краев должны быть предварительно очищены от грязи, наплывов и коррозии до металлического блеска. Трещину необходимо предварительно "ограничить" сверлением. Образовавшиеся в результате разделки полости заполняются при сварке металлом электрода.

Дуговая сварка обеспечивает прочное соединение, но приводит к деформации свариваемых деталей.

В результате заварки деталь испытывает напряжения, которые должны быть сняты. Если можно, свариваемую деталь следует предварительно подогреть, что уменьшает разность температур места сварки и остальной детали и улучшает качество сварки. Если конструкция такова, что сварка вызывает в ней большие внутренние напряжения, деталь следует отжечь путем нагрева ее до  $600...650^{\circ}\text{C}$  и последующего медленного охлаждения вместе с печью.

Большое распространение получил метод сварки чугунных деталей с помощью вспомогательных элементов – стальных шпилек, ввинчиваемых в края свариваемых деталей. Шпильки ввинчиваются на глубину до 1,5 их диаметра и выступают над кромкой на 4...10 мм. Они предварительно обвариваются (каждая отдельно), затем соединяются между собой сплошной сваркой.

При сварке деталей из алюминия и его сплавов возникают трудности, связанные с тугоплавкостью пленки окислов ( $Al_2O_3$ ) на поверхности деталей, температура плавления которой  $2050^\circ C$ . Пленка мешает соединению свариваемых деталей, поскольку температура плавления алюминия  $658^\circ C$ .

Алюминий и его сплавы сваривают газовой и дуговой сваркой с помощью металлического и графитового электродов или автоматическим способом в инертной среде. При сварке применяют металлические электроды со специальной обмазкой, содержащей фтористые или хлористые соли лития, калия, натрия и кальция, хорошо растворяющие пленку оксидов алюминия.

*Газовая сварка.* Эта сварка обеспечивает расплавление металла теплом горящего газа в струе чистого кислорода. Газ (ацетилен, природный газ) и кислород подаются в горелку для сжигания через редукторы, снижающие давление газа. В горелке он смешивается с кислородом в горячую смесь, которая сжигается у мундштука. Газовая сварка позволяет использовать почти любой присадочный материал, поэтому она нашла широкое распространение для восстановления деталей, изготовленных из различных материалов. В ремонтной практике газовую сварку чаще используют для восстановления деталей из чугуна.

Газовая сварка приводит к короблению детали, при недостаточно осторожном ведении процесса возможны разрывы, а при наличии трещин – их увеличение. Чтобы избежать разрывов, образования внутренних напряжений и коробления деталей, подлежащих газовой сварке, их следует перед началом процесса подогревать. Общий нагрев обеспечивает лучшее качество сварки.

Для восстановления чугунных деталей, подвергаемых небольшим нагрузкам, в качестве присадочного материала используются латунь и бронза, которые обладают свойствами прочно соединяться с чугунными стенками трещин. Детали, подвергаемые значительным нагрузкам, лучше заваривать чугуном, а в ответственных случаях – с подогревом и последующим отжигом детали. При заварке трещины ее ограничивают сверлением отверстий. После окончания сварки следует закрыть деталь листами асбеста или засыпать песком, чтобы обеспечить постепенное и равномерное остывание.

*Сборка трением встык.* Такая сварка выполняется за счет тепла, выделяемого в процессе трения двух плотно прижимаемых друг к другу деталей, из которых одна вращается, а другая неподвижна.

При восстановлении изношенной детали удаляется ее часть, которая не может быть использована, а взамен приваривается специально изготовленная новая часть.

Процесс сварки ведется так: одна из свариваемых деталей укрепляется в патроне станка, вторая – в резцедержателе (или приспособлении). Детали центрируются. После закрепления деталей шпиндель приводится во вращение, и торцы свариваемых деталей плавно прижимаются друг к другу. В месте стыка температура быстро повышается. По достижении температуры сварки шпиндель станка резко останавливают, и одновременно с этим свариваемые детали сильно прижимают одну к другой. Сварка трением обеспечивает надежное соединение деталей.

## *Методы пригонки деталей*

Новые детали, устанавливаемые в ремонтируемый прибор, и детали, прошедшие восстановление, собираются в узлы. Сборка отдельных сопряжений и узлов требует выполнения пригоночных работ и осуществления необходимых посадок сопрягаемых деталей.

*Шабрение.* Обработка поверхности, выполняемая путем соскабливания тонкой стружки, называется шабрением. Толщина стружки при шабрении колеблется от 0,05 до 0,0005 мм. Шабрение чаще всего применяется как доводочная операция при обработке плоских и внутренних цилиндрических поверхностей.

Шабрение производится при помощи специальных инструментов, называемых шаберами. Шаберы изготавливаются из инструментальных сталей У10, У12 и закаливаются до HRC 56...60. После заточки режущую кромку шабера следует периодически доводить путем притирки на чугунной плите.

Пришабривание чаще всего производится «по краске». Для этого на рабочую поверхность поверочного инструмента или детали, по которой ведется пригонка, наносится тонкий слой разведенной на машинном масле краски. Затем поверочный инструмент или деталь накладывают на подлежащую проверке поверхность и перемещают по ней. В результате перемещения в местах контакта остаются следы краски, отмечающие выступающие участки поверхности, подлежащие снятию шабером. Частота расположения закрашенных пятен определяет степень приближения точности обрабатываемой поверхности к эталонной.

Шабрение ведется при движении шабером «от себя». Если требуется особо точное и чистое шабрение, применяют движение «на себя».

Когда шабрением должна быть обеспечена особо высокая точность поверхности, краска на эталон не наносится, а шабрение ведут по блестящим пятнам (точкам), остающимся на шабруемой поверхности в результате контакта ее с поверочным инструментом или сопряженной деталью (шабрение «на блеск»). Качество шабрения определяется числом закрашенных точек (пятен), приходящихся на квадрат площадью 25 x 25 мм. Припуски на шабрение должны быть минимальными, не более 0,1...0,2 мм.

*Притирка.* Обработка поверхностей с помощью порошков или паст для получения наиболее полного прилегания данной поверхности к эталонной или к поверхности сопрягаемой детали называется притиркой. Притирка применяется для создания плотных или герметичных соединений, а также доводки поверхностей. Припуск на притирку дается в пределах 0,01 ...0,02 мм.

В качестве притирочных порошков применяются карборунд, корунд, наждак, толченое стекло, окиси железа (крокусы), венская известь, окиси хрома и т.д. Порошки выбираются в зависимости от твердости материала притираемых деталей. Для притирки стальных деталей применяются корундовые и наждачные порошки, чугунных и бронзовых деталей – наждачный порошок и толченое стекло.

Кроме порошков для притирки используют пасты. Наибольшее распространение получила химическая паста ГОИ, которая выпускается трех сортов: грубая, средняя и тонкая. Она оказывает на металл химическое воздействие, создает окисную пленку. При перемещении одной трущейся детали по другой, покрытой пастой ГОИ, окисная пленка на выступающих участках поверхности нарушается (как бы срезается с поверхности металла), а взамен ее образуется такая же новая. Этим достигается постепенное сглаживание выступов притираемой поверхности.

Притирка производится двумя способами: притирка деталей одна по другой и притирка деталей по эталонной поверхности. Первый способ при ремонте оборудования применяется чаще.

Материал притира должен быть мягче материала притираемой детали. Притиры-плиты и притиры-брусочки используются для притирки по ним плоскостей небольших размеров. Втулками-притирами пользуются для притирки наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей. Конструкция притира для притирки внутренних поверхностей должна позволять производить его разжим.

В последние годы все большее признание в качестве притирочных материалов завоевывают алмазные порошки и алмазные пасты.

### ***Упрочняющая обработка***

Для увеличения ресурса восстановленные поверхности деталей подвергают упрочняющей обработке:

- методами лазерного воздействия и электроискровой обработки;
- упрочняюще-чистовая обработка деталей приборов

*Лазерная закалка* применяется в тех случаях, если закалка другими методами затруднена из-за сложной конфигурации детали или значительного ее коробления.

Для поверхностного упрочнения лучом лазера характерен ряд особенностей: возможность локального (по глубине и площади) упрочнения участков поверхностей обрабатываемых деталей в местах их износа; упрочнение поверхностей труднодоступных полостей и углублений, куда луч лазера может быть введен с помощью несложных оптических устройств; получение определенных физико-механических, химических и других свойств поверхностей при их легировании различными элементами с помощью лазерного излучения; отсутствие деформаций обрабатываемых деталей, обусловленное локальностью термической обработки, что позволяет полностью исключить финишное шлифование; простота автоматизации процесса обработки лучом лазера по контуру, в том числе деталей сложной формы, определяемая бесконтактностью лазерного нагрева.

Лазерную обработку проводят в воздушной атмосфере, но чаще в атмосфере защитного газа аргона, предохраняющего от обезуглероживания обрабатываемый участок.

Критическими режимами лазерного упрочнения являются те, при которых воздействие излучения лазера не приводит к нарушению шероховатости поверхности, а глубина упрочненного слоя максимальна.

При лазерном воздействии глубина упрочненного слоя определяется по формуле:

$$z = \sqrt{\alpha \tau_{\text{и}}},$$

где  $\alpha$  – температуропроводность;  $\tau_{\text{и}}$  – длительность импульса лазерного излучения.

Для получения равномерного по глубине упрочненного слоя перед обработкой лазером детали подвергают травлению реактивом состава: хлорного железа – 10 г, соляной кислоты – 15 см<sup>3</sup>, воды – 15 см<sup>3</sup>. После травления деталь, имеющую ровный темно-серый цвет, устанавливают и фиксируют на столе механизма перемещения лазерной установки. Схема управления перемещением лазерного луча в пространстве при упрочняющей обработке приведена на рисунке 35.

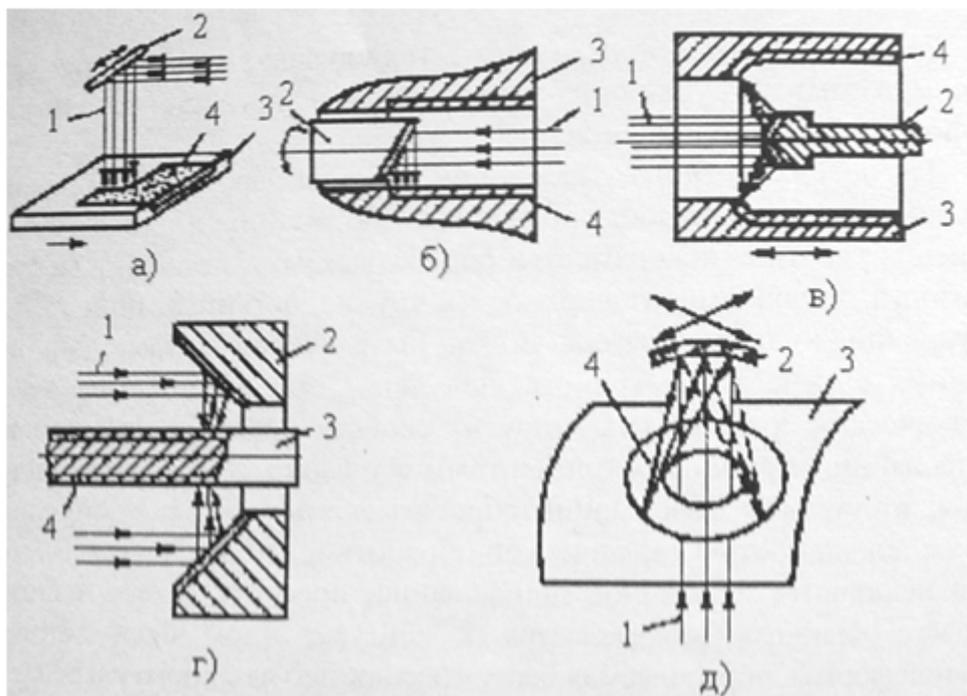


Рис. 35. Схемы управления перемещением лазерного луча в пространстве при обработке:

- а – плоскости; б – отверстия; в – внутреннего торца; г – наружного цилиндра;
- д – криволинейной поверхности с центральным отверстием;
- 1 – световой поток; 2 – зеркало; 3 – деталь; 4 – зона упрочнения.

*Электроискровая обработка* заключается в легировании поверхностного слоя металла изделия, являющегося катодом, материалом электрода (анода) при искровом разряде в воздушной среде (рис. 36.). В результате химических реакций легировющего металла с диссоциированным атомарным азотом и углеродом воздуха, а также с материалом детали, в поверхностных слоях

образуются закалочные структуры и сложные химические соединения (высокосодержащие нитриды, карбонитриды и карбиды), возникает диффузионный износостойкий упрочненный слой.

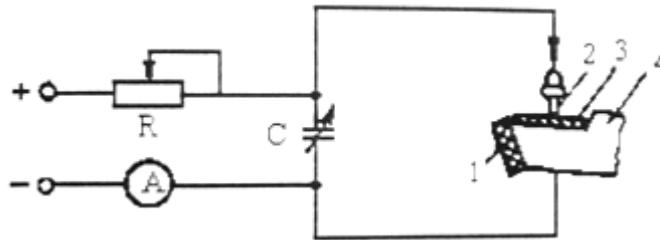


Рис. 36 Принципиальная электрическая схема устройства для электроискровой обработки: 1 – графитовая пластинка; 2 – упрочняющий электрод (анод); 3 – упрочняемая поверхность (деталь-катод); 4 – корпус инструмента.

Последующее воздействие лазерного излучения улучшает свойства упрочненной поверхности, легированной электроискровым методом, и снижает степень ее шероховатости.

Подготовка поверхностей деталей, подвергаемых электроискровому упрочнению, состоит в удалении грязи, пыли, продуктов коррозии и заусенцев с кромок деталей. Параметр шероховатости упрочняемой поверхности  $R_z$  не должен быть более 80 мкм.

Качество поверхностного слоя оказывает большое влияние на характеристики трения и изнашивания, развитие усталостных явлений, коррозию, КПД приборов, возникновение шумов и на другие параметры и характеристики изделий. Поэтому качество поверхностного слоя является одним из главных факторов, определяющих долговечность деталей механических узлов.

Для улучшения качества поверхностного слоя эффективно применять *упрочняюще-чистовую обработку пластическим деформированием*. При такой обработке дефекты, образовавшиеся в поверхностном слое детали на предшествующих операциях, в значительной мере ликвидируются, слой упрочняется, в нем создаются сжимающие остаточные макронапряжения, долговечность деталей возрастает.

Основными показателями упрочняюще-чистовой обработки являются толщина и степень наклепа, величина остаточных макронапряжений сжатия и шероховатость поверхности.

Применяют следующие способы упрочняюще-чистовой обработки пластическим деформированием: дробеструйный, обкатывание или раскатывание шарами (ОШР) или роликами, дорнование, центробежно-шариковый (ротационный), чеканка и др. Способы обработки и конструкции инструмента зависят от формы упрочняемой поверхности.

Эффект *дробеструйной обработки* (рис. 37) несколько ограничен: пластические деформации проникают на сравнительно малую глубину (до 0,7 мм), шероховатость поверхности практически не уменьшается, микротвердость поверхностного слоя увеличивается незначительно (на 30 %). Этот способ эффективен для фасонных деталей, работающих в условиях знакопе-

ременных нагрузок. Сопротивление усталости при этом увеличивается в 1,5 раза и более.

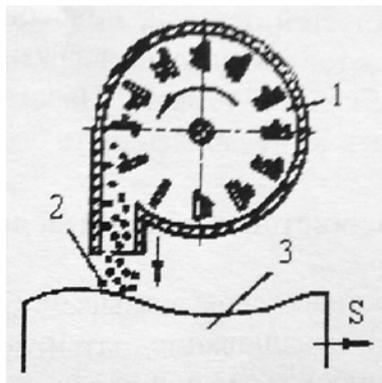


Рис. 37. Схема дробеструйной упрочняющей обработки:  
1 – механический дробемет; 2 – дробь; 3 – обрабатываемая деталь.

*Обкатывание шаром* (рис. 38) или *роликом* – наиболее распространенный процесс, так как имеет большие возможности: снижается шероховатость поверхности от  $Rz = 40$  до  $Ra = 0,16$  мкм, увеличивается микротвердость поверхностного слоя на 40...60 %, получается наклеп значительной толщины.

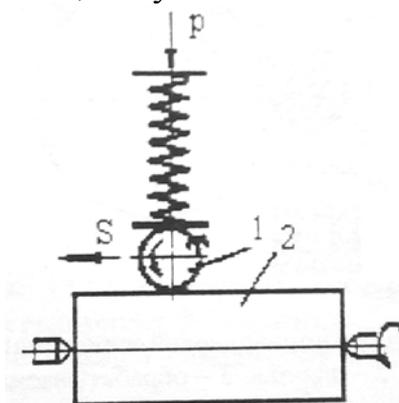


Рис. 38. Схема упрочняюще-чистовой обработки путем обкатывания шаром (роликом)

*Дорнование* (рис. 39) – процесс, при котором создается наклеп незначительной толщины (до 1 мм). Микротвердость поверхностного слоя при этом способе обработки возрастает на 25...30 %, шероховатость снижается с  $Rz = 40$  до  $Ra = 0,08$  мкм.

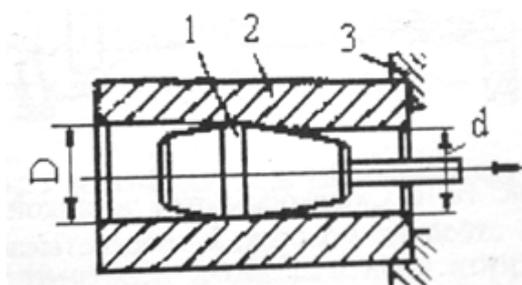


Рис. 39. Схема обработки дорнованием: 1 – дорн; 2 – обрабатываемая деталь;  
3 – упорная плита станка

*Центробежно-шариковая обработка* (рис. 40) дает незначительное снижение шероховатости поверхности, увеличивает микротвердость поверхностного слоя на 20...50 % (на стальных деталях), толщину наклепа до 0,8 мм и сопротивление усталости деталей в 1,5...3 раза.

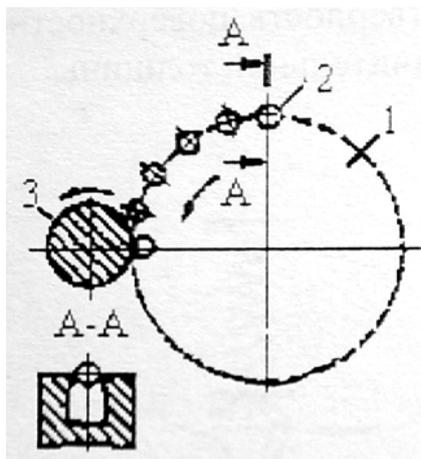


Рис. 40. Схема центробежно-шариковой упрочняюще-чистовой обработки: 1 – диск; 2 – шарики; 3 – обрабатываемая деталь

*Чеканка* (рис. 41) осуществляется путем ударного воздействия бойка. Глубина наклепа достигает 20...25 мм, сопротивление усталости повышается на 50... 100 %, долговечность деталей увеличивается в 2 раза и более.

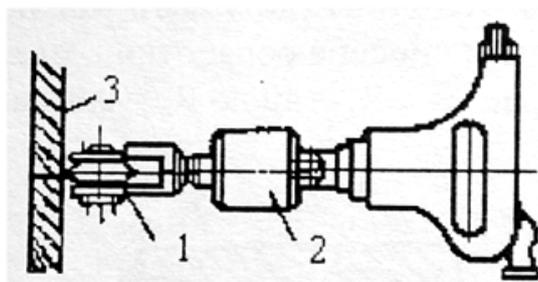


Рис. 41. Схема обработки чеканкой: 1 – ролик; 2 – отбойный молоток; 3 – обрабатываемая деталь

*Алмазное выглаживание* (рис. 42) применяют при финишной обработке деталей. Отделка и упрочнение деталей этим методом приводит к повышению производительности труда по сравнению с доводкой чугунными притирами; достигаемая шероховатость поверхности – от  $Ra = 0,04$  до  $Rz = 0,1$  мкм, что в сочетании с упрочнением и остаточными макронапряжениями сжатия значительно повышает износостойкость детали.

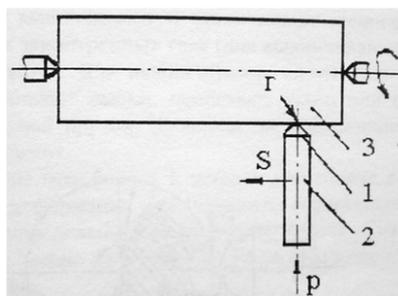


Рис. 42. Алмазное выглаживание:

1 – алмазный индентор радиусом  $r$ ; 2 – держатель; 3 – обрабатываемая деталь;  $P$  – сила;  $S$  – продольная подача

*Упрочнение ультразвуковым инструментом (УЗО).* Наибольшего повышения прочности металлов можно достичь при замене статического способа деформирования импульсным (рис. 43).

Ультразвуковой инструмент под действием сил – статической и значительно большей динамической, создаваемой колебательной системой (ультразвуковым генератором 1, магнитострикционным преобразователем 2 и концентратором 3) – пластически деформирует поверхностный слой детали, предварительно обработанной резанием, и тем самым упрочняет его, одновременно сглаживая неровности поверхности. Статическая сила создается действием груза, перемещающегося по направляющим, или другим способом.

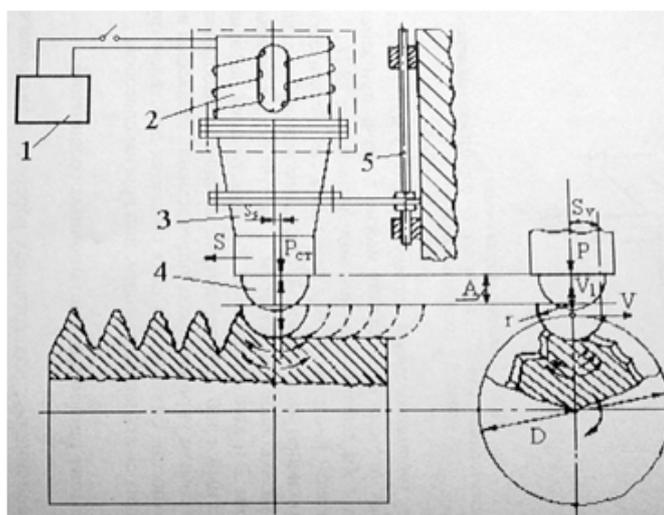


Рис. 43. Упрочнение ультразвуковым инструментом

### ***Технологии ХАДО и РВС***

Технологии ХАДО и РВС обеспечивают восстановление размеров изношенных деталей с одновременным упрочнением поверхностного слоя. Суть технологий заключается в нанесении металлокерамического слоя.

ХАДО-технология - это технология восстановительного ремонта машин, узлов и механизмов, которые не имеют механических повреждений в режиме штатной эксплуатации (без разборки и нарушения технологического процесса) т.е. в процессе их эксплуатации.

ХАДО – это состав, который в маслах, в том числе и синтетических, и прочих носителях очень быстро растворяется. Количество состава, необходимое для обработки не меняет вязкость масла. Масла рассматриваются как носители состава и как среда для теплообмена. Тип и качество масел не имеют значения.

ХАДО не является абразивоподобным материалом. ХАДО никогда и ни при каких условиях не может стать первопричиной разрушения механизма, даже если будет допущена его многократная передозировка.

ХАДО работает только там, где есть трение, то есть выделяется энергия, необходимая для прохождения реакции замещения.

#### *Этапы работы хадо-технологии*

Состав ХАДО-геля – это многокомпонентная мелкодисперсная смесь природных минералов, добавок и катализаторов. Основная особенность состава заключается в том, что они способны образовывать с поверхностным слоем металла в местах трения и контакта металлокерамический защитный слой.

Условно работу ХАДО-технологии можно разделить на следующие этапы:

- ссходное состояние;
- суперфинишная операция и домол частиц ХАДО выступами микрорельефа;
- очистка микрорельефа пятен контакта сопряженных деталей;
- плотная нагартовка домолотых частиц ХАДО в углубления микрорельефа контактируемых поверхностей деталей;
- образование новых кристаллов.

В исходном состоянии поверхность трения и контакта сопряженных деталей состоит из пиков и углублений, забитых продуктами износа и разложения масел и присадок (1).

Когда механизм включается в работу, нагрузка сближает поверхности трения, выступы микрорельефа рвут пленки, создаваемые маслом и присадками, и набегают друг на друга. При этом они сламываются и добавляют в масло некоторое количество металла, которые также становятся загрязнителями. В местах слома выступов происходят микровспышки, которые разрушают масла и присадки и превращают их в загрязнители (2).



При очередном акте трения и контакта сламываются будут очередные выступы микрорельефов, добавляя в масло очередные порции загрязнителей.

Если рассматривать частицы ХАДО относительно выступов и углублений микрорельефа, то они являются достаточно крупными (3). Выступы микрорельефа, как зубья своеобразной мельницы, размалывают их. При размоле происходит интенсификация процессов микросваривания и микросхватывания, так как большое количество микровыступов будет сломано от контакта с частицами ХАДО. В местах слома при больших температурах (900...1200 °С) в результате микрометаллургических процессов в своеобразных микрогильках почти мгновенно протекает реакция замещения с образованием новых кристаллов. При этом остальная масса металла быстро снимает тепло из зон контакта. Это является необходимым условием для кристаллизации такого расплава (4).



Таким образом, в местах выступов появляются первые пятна металлокерамического защитного слоя. Толщина этих пятен небольшая, так как даже при значительных энергиях слома срабатывает небольшое количество частиц ХАДО. В ходе разлома частицы размалываются вплоть до элементарных, которые уже имеют определенную структуру. Позже, в процессе домола происходит механическое удаление загрязнителей из углублений микрорельефа.

Практика показала, что особая форма микрочастиц ХАДО (микрочешуйки) и соответствующие добавки в ХАДО способны более качественно очистить микрорельеф, чем это делают сейчас моющие средства.

При очистке микрорельефа в масло выбрасывается большое количество ранее утрамбованных и притертых загрязнителей (продукты износа и разложения смазок). Очень большое их количество может сильно повлиять на эффективность операции плотной нагартовки. В этом случае необходимо менять масло.

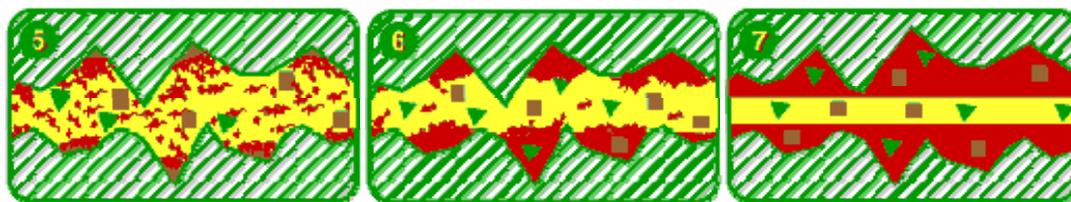
Микрочастицы ХАДО способны очистить микрорельеф практически от всех загрязнителей (присадки, модификаторы трения, кондиционеры металла). Если очистка идет нормально, то уже через 1 час приработки ХАДО можно зафиксировать изменения в параметрах работы механизма.

Плотная нагартовка домолотых частиц ХАДО в углубления микрорельефа контактируемых поверхностей деталей предназначена для плотного контакта частиц ХАДО между собой и с металлом поверхностного слоя. Она обеспечивается:

- абсолютной спайностью микрочастиц ХАДО
- ориентированием частиц в направлении наименьшего механического сопротивления

В каждой точке поверхности трения электромагнитные микрополя выстраивают микрочастицы ХАДО в определенном порядке. Абсолютная спайность обеспечивает восстановление сил межкристаллитного взаимодействия частиц, а выступы микрорельефа при контакте еще и утрамбовывают части-

цы. В результате нагартовки поверхность становится такой плотности, что по твердости превосходит металл, на котором происходит приработка ХАДО (5).



В результате прохождения описанных выше операций уже происходит более эффективная защита от износа, чем это обеспечивают штатные смазки и присадки. Снижается тепловыделение на поверхности и более эффективно работает хоть и загрязненный масляный клин.

В результате плотной нагартовки обеспечивается плотный контакт микрочастиц ХАДО и соответствующих добавок к нему с металлом приповерхностного слоя пятна контакта. В присутствии катализаторов и выделяемой при трении энергии начинается образование новых кристаллов с более объемной кристаллической решеткой (6). Образующаяся масса кристаллов начинает "приподниматься" над поверхностью пятна контакта и компенсирует износ. Оставшиеся частицы ХАДО накапливаются на поверхности образующегося слоя и выравнивают его. Толщина слоев пропорциональна количеству частиц, нагартованных в микроуглублениях рельефа, и энергии, выделяемой при трении и контакте, то есть пропорциональна износу (7).

Толщина слоя регулируется автоматически. Если есть энергия при трении и контакте, то он растет. В результате роста компенсируются зазоры, снижается выделение энергии на поверхности. Все это приводит к прекращению реакции замещения и дальнейшего роста слоя.

Основные свойства металлокерамического защитного слоя

- Микротвердость поверхностей 400-450 кг/мм<sup>2</sup>
- Коэффициент трения: 0.003-0.007
- Сжимающие напряжения: 250 кг/мм<sup>2</sup>
- Устраняет на 100% контакт "металл-металл", заменяя его на контакт "металлокерамика-металлокерамика"
- Не является чужеродным к сталям, с которыми образовался, так как между ним и поверхностными слоями деталей нет резкой границы. Удерживается на поверхности стали лучше, чем хром, никель и различные наплавки
- Полностью устраняет водородное растрескивание поверхностей трения деталей
- Высокая коррозионная стойкость
- При деформациях и ударах не скалывается
- Может быть возобновлен по мере его изнашивания путем повторной ХАДО-обработки

Разработчик и производитель ХАДО технологии является ООО «ХАДО», г. Харьков, Украина, которому принадлежат все авторские и патентные права

Технология РВС аналогична вышеописанной и отличается составом ремонтно-восстановительной среды.

### *Ремонт резьбовых и шпоночных соединений*

Резьбовые соединения, подвергшиеся коррозии, для облегчения разборки предварительно подвергают следующим видам обработки: отмачиванию в керосине в течение 30...60 мин (крупные узлы обертывают ветошью, смоченной в керосине); отбиванию гайки слесарным молотком (с использованием массивной поддержки); прогреванию паяльной лампой или газовой горелкой до температуры не выше 450 °С.

Шпильки вывинчивают и завинчивают гаечными ключами с помощью двух законтренных гаек (для вывинчивания ключом берут за нижнюю гайку). Для вывинчивания сломанных шпилек на их стержне зашлифовывают лыски, прорезают шлиц или приваривают к стержню стальной пруток. Шпильки, не поддающиеся вывинчиванию, высверливают.

Затягивание гаек болтов и шпилек при сборке деталей и узлов во избежание деформации или перекоса сопрягаемых поверхностей выполняют в определенной последовательности. Сначала все гайки затягивают примерно на 1/3 полного усилия, затем – на 2/3 и, наконец, – полностью.

Напряжение в стержне болта (шпильки) при затягивании гаек не должно превышать 0,4...0,5 предела текучести материала, поэтому для ручных гаечных ключей при усилии в 300 Н длина рычага принимается равной 12...15 значений диаметра резьбы. Нельзя наращивать рукоятки ключей для их усиления или закладывать прокладки в зеве ключей для уменьшения их размеров. При сборке ответственных соединений применяют ключи с мультипликатором (тарированные ключи), не допускающие превышения нормативного усилия.

*Дефектация и ремонт резьбовых крепежных деталей грубого класса точности.* Недостаточную полноту, забитость, увеличение шага или срывы ниток наружных и внутренних резьб определяют их внешним осмотром и измерением резьбомером или предельными калибрами (Пр и Нс). Крепежные детали с изношенными и вытянутыми резьбами, а также с разрушенными более чем на 0,5 витка нитками резьбы, входящими в гайку, бракуют. Бывшие в употреблении шплинты и упругие шайбы повторно не используют.

Дефектные резьбы в корпусных и других деталях приборов рассверливают, и нарезают в отверстиях стандартную резьбу большего диаметра. По размеру новой резьбы изготавливают ступенчатую шпильку или устанавливают в деталь переходный резьбовой штуцер. Допускается углублять резьбовое отверстие и устанавливать удлиненную шпильку.

Болты и шпильки с уменьшенным диаметром стержня вследствие вытягивания или коррозии бракуют. Износ граней гаек и шляпок болтов определяют измерением диаметра окружности, в которую вписывается многогранник; уменьшение этой окружности допускается на 6...8%. Износ шлицев винтов по ширине допускается в пределах 1,5 их номинального размера.

Изношенные шпоночные пазы обрабатывают слесарным инструментом или фрезой на станке до восстановления правильной формы. Ширину пазов допускается увеличивать на 15% по сравнению с номинальным их размером, указанным в чертеже; при этом изготавливается новая шпонка соответствующих размеров, имеющая прежнюю форму, или ступенчатая (если паз сопрягаемой детали не подвергался обработке). При нецелесообразности восстановления изношенного паза можно фрезеровать (если это допускает конструкция детали) новый паз, расположенный под углом от 90° до 180° относительно прежнего.

Наплавка кромок или заплавление изношенных пазов валов допускается при условии последующего высокотемпературного отпуска вала и проверки его прямолинейности.

### ***Ремонт валов***

*Дефектация.* Перед дефектацией валы освобождают от всех деталей, промывают и сушат.

*Снижение чистоты сопрягаемых поверхностей* является результатом различных видов износа или действия агрессивных сред и определяется визуально путем сопоставления чистоты дефектуемых поверхностей с эталонами чистоты.

Все дефекты чистоты поверхностей устраняют шлифованием и полированием шеек на станках или вручную с применением специальных приспособлений. Мелкие дефекты (забоины) диаметром до 5 мм зачищают бархатным напильником и абразивным полотном.

*Усталостные трещины и изломы* возникают в результате длительного действия циклических нагрузок при перегрузках механизмов. Трещины появляются, главным образом, в местах концентрации напряжений – в галтелях, шпоночных пазах, у смазочных отверстий и лысок. Наличие трещин обнаруживают внешним осмотром и дефектоскопией. При капитальном ремонте все ответственные валы проверяют магнитной или другой дефектоскопией.

*Уменьшение размеров и дефекты геометрической формы шеек, сопрягаемых с подшипниками скольжения,* могут явиться результатом как нормального, так и аварийного износа. Для большинства валов характерен неравномерный износ шеек с образованием овальности, конусности, седловидности, бочкообразности.

Неправильность формы шеек определяется микрометром, индикаторной скобой или штангенциркулем. Для определения конусности и овальности измерения выполняют не менее чем в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на расстоянии 10... 15 мм от торца вала.

Неправильность формы шеек устраняют в зависимости от характера дефекта шлифованием или протачиванием и шлифованием с последующим полированием поверхности. Предельное уменьшение диаметра шеек вследствие износа и обработки не должно превышать 6 % их номинального размера.

*Износ шеек в неподвижных сопряжениях* (под кольцами подшипников качения, ступицами шкивов, зубчатых колес) возникает вследствие пластиче-

ской деформации металла на контактных поверхностях при недостаточной их чистоте или неправильности формы.

*Технология ремонта. Правку валов* выполняют в холодном состоянии с помощью винтовых или гидравлических прессов, а также домкратов.

Вал выставляют на столе прессы по индикатору выпуклой стороной против силовой головки и закрепляют один конец вала хомутом или другим способом, чтобы исключить его случайное смещение. При использовании домкратов вал закрепляют в специальной раме, сваренной из профильной стали. Вал должен опираться на подставки или прокладки из мягкого металла, профиль поверхности которых соответствует профилю опорных поверхностей вала. На головке прессы закрепляют аналогичный пуансон. Правку выполняют, прилагая постепенно возрастающие усилия при постоянном контроле степени деформации индикатором.

*Шлифование и полирование шеек вручную* выполняют для получения необходимой чистоты поверхности; правильность формы шеек при этом не восстанавливается. Операции выполняют абразивным полотном с помощью отрезка плоского приводного ремня или жимков. Жимками называют раскрывающиеся деревянные или металлические колодки с вырезом, охватывающим шейку вала. Вырез оклеивается фетром, на который наносят шлифовальную или полировальную пасту. В жимках иногда укрепляют чугунные вкладыши, внутренний диаметр которых соответствует диаметру обрабатываемой шейки. Вкладыши способствуют исправлению формы, но не обеспечивают необходимой ее точности. Шлифование и полирование выполняют, перемещая жимки за рукоятки в пределах трети окружности.

В качестве шлифовальных материалов используют полотно с абразивом электрокорунда белого зернистостью 80...16; для полирования – такое же полотно зернистостью 6...4 или пасты. Для достижения  $R_a 0,32$  применяют пасты ГОИ, шлифующим материалом которых является окись железа или окись хрома.

*Шлифование на станках* обеспечивает необходимую правильность геометрической формы шеек. Обработку выполняют на круглошлифовальных станках с продольным и поперечным перемещением круга или на токарных станках, оснащенных шлифовальным приспособлением.

## ***Ремонт подшипников***

### **Подшипники скольжения**

*Конструктивные особенности, технические требования.* Подшипники скольжения подразделяются на *цельные* (глухие), выполненные в виде втулок, и *разъемные*, состоящие из двух или нескольких частей.

Основными антифрикционными материалами для изготовления подшипников являются баббиты, бронзы и чугуны. Баббиты обладают хорошими антифрикционными свойствами при больших скоростях движения, но чувствительны к ударным нагрузкам и высоким температурам (свыше 100 °С).

Бронзы хорошо противостоят высоким удельным и ударным нагрузкам, допускают большие скорости движения, малочувствительны к загрязненной смазке, но дороги.

Слабонагруженные подшипники, работающие при относительно больших скоростях движения, изготавливают из антифрикционных (СЧЦ1, СЧЦ2) или других специальных чугунов, а работающие при малых скоростях движения – из ковкового или серого чугуна СЧ 18 – СЧ 36.

*Дефектация.* Основным показателем степени износа подшипников является увеличение диаметрального зазора между поверхностями трения.

*Износ цилиндрических поверхностей скольжения* определяется по увеличению диаметрального зазора между шейкой вала и подшипником. У цельных подшипников зазор вычисляют как разность размеров диаметров отверстия подшипника и шейки вала в наиболее изношенном месте. В разъемных подшипниках для измерения зазора между шейкой и верхним вкладышем поперек шейки на расстоянии 10... 15 мм от галтелей закладывают два отрезка свинцовой проволоки диаметром 0,5... 1 мм. Завинчивая гайки болтов крепления вкладыша, сдавливают проволоку, и по толщине оттиска определяют зазор. Можно измерить зазор также по толщине латунных пластинок, закладываемых между поверхностями скольжения. Пластинка, соответствующая действительному размеру зазора, создает ощутимое торможение при поворачивании вала.

Допустимый размер зазоров в дефектовочных картах устанавливают отдельно для каждого подшипникового узла и вида ремонта на основании расчетов и эксплуатационных испытаний оборудования.

Плотность прилегания вкладышей к гнезду базовой детали проверяют с помощью краски, которую наносят на наружную поверхность вкладышей и плоскости их разъема. Положение вкладыша считают правильным, если пятна краски равномерно распределяются на сопрягаемых поверхностях и занимают 75% их площади.

*Ремонт подшипниковых узлов.* Замену неразъемных подшипников – втулок (бронзовых, чугунных, залитых баббитом) производят с учетом способа их закрепления в корпусе. Бронзовые втулки, закрепляемые по прессовым посадкам (Н8/z8, Н8/x8), при запрессовке в корпус сжимаются, а их внутренний диаметр уменьшается примерно на 40... 60% посадочного натяга. В связи с этим чистовое растачивание или развертывание втулок производят после их запрессовки.

Втулки, сопрягаемые с корпусом переходными посадками, практически не изменяют внутреннего размера, поэтому после установки на место обрабатывать их внутреннюю поверхность под размер необязательно.

Припуск на шабрение поверхностей скольжения бронзовых и чугунных втулок диаметром 80...100 мм составляет 0,03...0,05 мм, баббитовых – 0,1...0,15 мм.

*Ремонт разъемных баббитовых и бронзовых подшипников* выполняют в следующем порядке:

1) подшипниковый узел разбирают и тщательно очищают рабочие поверхности шейки и антифрикционного слоя от загрязнений и местных по-

вреждений – задиров, наплывов металла и др.;

2) проверяют соответствие шейки техническим требованиям и при необходимости обрабатывают ее для достижения нужного размера, правильности формы и чистоты поверхности;

3) проверяют плотность прилегания наружной поверхности вкладыша к посадочному гнезду корпуса с помощью краски или щупа (пластина щупа толщиной 0,03 мм не должна проходить между сопрягаемыми поверхностями);

4) на поверхность шейки наносят краску (синьку или сажу, разведенную на машинном масле) и растирают ее пальцами до получения тонкого равномерного слоя;

5) с двух стыковых плоскостей подшипника удаляют равное количество прокладок общей толщиной по 0,05...0,08 мм;

6) собирают узел, болты крепления подшипника затягивают до предела и поворачивают вал или подшипниковый узел на два – три оборота;

7) узел разбирают, вкладыши закрепляют в тисках, а окрашенные участки поверхности скольжения шабруют;

8) восстанавливают окраску на шейке, вновь собирают узел и, определив места соприкосновения, продолжают шабрение.

Операцию повторяют несколько раз и считают законченной, когда пятна краски будут расположены в средней части вкладыша и займут не менее 2/3 его рабочей поверхности. Необходимость многократного повторения шабровки вызвана тем, что при удалении прокладок со стыковых поверхностей отверстие подшипника теряет форму правильной окружности, которую нужно восстанавливать.

Качество шабровки, определяемое с помощью шаблона, характеризуется количеством пятен касания размером около 3 мм, приходящихся на квадрат со стороной 25 мм (такой размер квадрата принят для измерительной сетки). При чистом шабрении должно быть 16...18 пятен, при грубом – 8...10.

По окончании шабровки подшипник должен туго поворачиваться на валу. Для обеспечения смазочного зазора между вкладышами закладывают прокладки необходимой толщины.

### **Подшипники качения**

Возможность повторного использования *шарикоподшипников качения* в механизмах, отработавших межремонтный ресурс, устанавливается на основании анализа условий работы механизма и шарикоподшипника, опыта эксплуатации, статистических данных о фактическом состоянии отработавших шарикоподшипников, лабораторных исследований их и подтверждается стендовыми испытаниями шарикоподшипников в составе механизмов.

*Дефектацию* шарикоподшипников проводят путем визуального осмотра и с помощью оптических средств, а также проверки качества вращения. В исключительных случаях измеряют внутренний зазор подшипника (радиальный или осевой) и делают рентгеновское просвечивание. Внутренние зазоры в подшипниках должны соответствовать значениям, приводимым в технических условиях на новые шарикоподшипники.

Перед дефектацией шарикоподшипники очищают.

Осмотр шарикоподшипников производят при высокой освещенности, создаваемой рассеянным светом. При осмотре используют лупу 7...10-кратного увеличения. Подшипники следует брать с помощью салфеток, хлопчатобумажных перчаток, напальчников. Осматривают все поверхности деталей, особое внимание обращая на беговые дорожки.

В шарикоподшипниках могут встречаться следующие дефекты:

1)цвета побежалости, представляющие собой окисные пленки, образующиеся при нагреве подшипника до температуры, превышающей 200 °С;

2)трещины на кольцах, шариках, сепараторе (для уточнения характера дефекта используется бинокулярный микроскоп 32-кратного увеличения);

3)выкрашивание частиц металла;

4)продольные риски на посадочных поверхностях колец;

5)наклеп и контактная коррозия на посадочной поверхности кольца, чаще внутреннего, вследствие неплотной посадки кольца;

6)бликовые отпечатки, лунки на беговых дорожках, характерные для подшипников, работающих при повышенных вибрациях;

7)коррозия деталей подшипника.

Шарикоподшипники с цветами побежалости, трещинами, усталостным выкрашиванием металла, лунками на беговых дорожках подлежат отбраковке и утилизации; подшипники со следами коррозии, продольными рисками после восстановления могут использоваться для сборки отремонтированных механизмов.

*Проверка качества вращения* является обязательным этапом дефектации шарикоподшипников. Повреждения, появляющиеся во время эксплуатации, нарушают легкость вращения колец, присущую новым шарикоподшипникам. Проверка качества вращения служит основным методом оценки работоспособности закрытых подшипников. При проверке качества вращения шарикоподшипник удерживают в горизонтальном положении за внутреннее кольцо. Наружное кольцо медленно поворачивают на 3...4 оборота в каждую сторону. Затем подшипник поворачивают на 180 и повторяют проверку. Подшипник должен иметь легкое ровное вращение; заедания, хруст, затиранья не допускаются. Далее наружное кольцо приводят в быстрое вращение, которое должно сопровождаться тихим ровным шумом. Частота вращения по инерции должна плавно снижаться до нуля. Быстрое торможение кольца свидетельствует о намагниченности деталей подшипника. Намагниченность подшипника можно проверить тонкой отожженной стальной проволокой. Намагниченные подшипники следует размагнитить индуктором.

Качество вращения подшипника сравнивают с вращением нового или эталонного. Подшипники с неудовлетворительным качеством вращения отбраковывают и утилизируют.

*Ремонт* шарикоподшипников заключается в удалении мелких механических повреждений и следов коррозии и собственно ремонтных операциях.

Следы наклепа, трения, заусенцы с краев рисок зачищают микрошкуркой, смоченной керосином или маслом, с последующей промывкой подшипников в бензине Б-70.

Коррозионные повреждения удаляют механическим или химическим способом.

Механическое удаление следов коррозии производят зачисткой фетром, смоченным в керосине, с добавлением тонких абразивных паст, абразивным бруском, микрошкуркой.

Перед химическим удалением коррозии подшипники промывают и обезжиривают. Чистые подшипники на 20...40 мин погружают в раствор следующего состава:

хромовый ангидрид	140 г
ортофосфорная кислота	80 г
вода	1000 мл

Температура раствора должна поддерживаться в пределах 5...95 °С. В процессе травления растворяются продукты коррозии, сталь не взаимодействует с раствором.

После удаления коррозии подшипники промывают в горячей и солодкой воде, после чего выдерживают при температуре 18...22 °С в течение 15...20 мин в растворе следующего состава:

триэтаноламин	4...5 г
нитрид натрия	1...2 г
вода	500 мл

Подшипники просушивают и вновь направляют на дефектацию для окончательного контроля.

Удалению подлежат лишь мелкие повреждения и коррозия на поверхностях деталей шарикоподшипников, исключая беговые дотеки и шарики. При наличии дефектов в указанных местах шарикоподшипники отбраковывают.

В процессе ремонтных операций подшипник разбирают, дорожки качения перешлифовывают под тела качения большего размера и собирают с новыми телами качения. Сепаратор подлежит замене.

Литература: [1, 4, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19]

## Литература

1. Козерук А.С., Фёдорцев Р.В., Шамкалович В.И. и др. Сборка, испытания, эксплуатация и ремонт приборов: Учебное пособие. – Мн.: БГПА, 2000. – 184 с.
2. А.П. Достанко, В.Л. Панин, А.А. Хмыль, Л.П. Ануфриев. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства. – Мн.: Вышэйшая школа, 2002.
3. Б.С. Покровский. Механосборочные работы и их контроль. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
5. Асс Б.А., Уразаев З.Ф., Мясников Б.Я. Сборка, регулировка и испытание авиационных приборов. – М.: Машиностроение, 1969. – 311 с.
6. Балабанов А.Н., Канарчук В.Е. Справочник технолога мелкосерийных и ремонтных производств. – Киев: Вища школа, 1983. – 256 с.
7. Волковик Е.А. Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
8. Зерний Ю.В. Сборка и регулировка приборов точной механики: Учеб. пособие. – М.: Всесоюзный заочный машиностроительный институт, 1984. – 88 с.
9. Коробов А.И. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование. – М.: Радио и связь, 1987. – 271 с.
10. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники/Под ред. В.А.Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 238 с.
11. Молодык Н.В., Лангрет Б.А., Бредун А.К. Восстановление деталей машин. – Киев: Урожай, 1985. – 160 с.
12. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. – М.: Машиностроение, 1987. – 44 с.
13. Недельский Г.В. Монтаж и ремонт торгово-технологического оборудования. – М.: Экономика, 1981. – 311 с.
14. Основы ремонта машин/Под ред. Ю.Н.Петрова. – М.: Колос, 1972. – 527 с.
15. Основы эксплуатации средств измерений/Под ред. Р.П.Покровского. – М.: Радио и связь, 1984. – 183 с.
16. Ремонт машин/Под общ. Ред. И.Е.Ульмана. – М.: Колос, 1976. – 448 с.
17. Руденко П.А., Горохов В.А., Молодык Н.В., Буряк Л.Е. Повышение качества восстановления деталей машин/Под общ. Ред. Н.В.Молодыка. – Киев: Урожай, 1978. – 176 с.
18. Технологические рекомендации по применению методов восстановления деталей машин. – М.: ГОСНИТИ, 1976. – 126 с.
19. Шейнгольд Е.М., Нечаев Л.Н. Технология ремонта и монтажа промышленного оборудования. – Л.: Машиностроение, 1973. – 399 с.