

*В. И. Ермаков*  
*В. С. Шейн*

---

# **РЕМОНТ И МОНТАЖ химического оборудования**

*Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов химико-машиностроительных специальностей высших учебных заведений*

ЛЕНИНГРАД. «ХИМИЯ»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1981

6П7.1

Е72

УДК 66.02/.08.002.72+66.02/.08.004.67

**Ермаков В. И., Шенин В. С.**

**Ремонт и монтаж химического оборудования: Учебное пособие для вузов. — Л.: Химия, 1981. — 368 с., ил.**

Рассмотрены система и организация планово-предупредительных ремонтов в химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Описана технология ремонта машин и аппаратов, а также их сборочных единиц. Большое внимание уделено модернизации оборудования, проводимой в ходе ремонтных работ. Монтажные операции излагаются в последовательности, принятой в учебной программе. Изложение сопровождается схемами и примерами расчетов.

Предназначено студентам химико-технологических вузов. Полезно инженерно-техническим работникам химической и смежных с ней отраслей промышленности.

368 с., 223 рис., 10 табл., библиография 29 названий.

*Рецензенты:*

1. Кафедра машин и аппаратов химической промышленности Тамбовского института химического машиностроения

2. Докт. техн. наук *В. Н. Блиничев*

## Предисловие

В широких масштабах в СССР осуществляется техническое перевооружение, внедряются технологические установки большой единичной мощности, позволяющие существенно снизить удельные капитальные вложения, эксплуатационные расходы и себестоимость продукции при значительном повышении производительности труда. Одновременно резко возрастают требования к надежности оборудования. Большая и ответственная роль в повышении надежности оборудования отводится ремонтным службам. Увеличение объема ремонтных работ при одновременном улучшении качества технического обслуживания требует постоянного совершенствования технологии ремонта, повышения квалификации ремонтного персонала. Качество ремонтных работ во многом зависит от увеличения темпов механизации труда, централизации и специализации ремонтных работ, совершенствования организации и планирования ремонтов. Эти же факторы определяют и улучшение технико-экономических показателей — снижение себестоимости продукции, повышение производительности труда.

При проектировании оборудования приходится учитывать требования эксплуатации (технического обслуживания) и монтажа оборудования. Ремонтпригодность оборудования и метод монтажа закладываются при проектировании оборудования. Таким образом, знание вопросов ремонта и монтажа необходимо также и будущему проектировщику.

В монтажных организациях работают специалисты по эксплуатации оборудования. Высших учебных заведений, готовящих специалистов по монтажным работам, нет. Поэтому изучение вопросов монтажа, хотя бы в качестве факультативного курса, необходимо для студентов, изучающих вопросы эксплуатации оборудования.

Ремонтно-механические цеха химических заводов и ремонтно-механические заводы химических комбинатов заняты в основном изготовлением нестандартного оборудования и запасных частей, т. е. машиностроительными операциями. Ремонтное производство по характеру работ является машиностроительным, поэтому все теоретические положения, относящиеся к курсу ремонта оборудования, рассматриваются в курсе технологии машиностроения и в данном учебном пособии не излагаются. Теоретические же вопросы монтажа оборудования, связанные с нагружением

грузоподъемных средств и расчетом действующих сил, излагаются в курсах теории машин и механизмов.

Некоторые разделы книги (1.3, 4.1, 4.3, 5.1—5.4) являются общими как для ремонта, так и для монтажа. Это объясняется общностью объектов и операций, выполняемых при ремонте и монтаже. Например, при ремонте выполняются монтажные, такелажные и специальные строительные работы.

По основным разделам, связанным с техническими способами проведения ремонта и монтажа, приводятся контрольные вопросы, которые несут в себе дополнительную информацию и могут быть использованы для проверки знаний студентов.

Основой для учебного пособия послужила книга авторов «Технология ремонта химического оборудования», Л., Химия, 1977 г.

Авторы выражают благодарность профессорам С. П. Рудобаште, В. Н. Блиничеву и В. Е. Сороко за ряд ценных замечаний при подготовке книги к печати.

## ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 1.1. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

На предприятиях химической промышленности объектами ремонта являются здания, сооружения, все виды оборудования и транспортных средств. При централизованной системе ремонтного обслуживания необходимо четко разграничивать функции основных служб предприятия:



Служба главного механика руководит эксплуатацией и ремонтом технологического и механического оборудования, а также технологических сооружений, коммуникаций, металлоконструкций, эстакад. В обязанности службы главного энергетика входит надзор за эксплуатацией электрооборудования, паросиловых установок, водопроводных и канализационных сетей, линий связи и их ремонт. Служба главного прибориста осуществляет надзор и ремонт контрольно-измерительных и регулирующих приборов, приборов сигнализации и блокировки. Служба главного архитектора следит за состоянием производственных зданий и сооружений, тепловой изоляции технологического и энергетического оборудования, обеспечивает их ремонт. Обычно она входит в состав службы главного механика. На крупных предприятиях с производственными площадями более 100 000 м<sup>2</sup> может существовать самостоятельная служба главного архитектора.

Главный механик осуществляет руководство всем ремонтно-механическим хозяйством завода:



Ремонтно-строительный и ремонтно-механический цеха административно подчиняются директору завода, а технически — главному механику.

Отдел главного механика (ОГМ) входит в состав заводоуправления. На этот отдел возложены следующие функции: 1) систематический надзор за состоянием оборудования химического предприятия; 2) составление плана на ремонт оборудования по предприятию в целом; 3) разработка плана организационно-технических мероприятий по ремонтной службе; 4) разработка плана внедрения новых высокопроизводительных технологических процессов для выполнения ремонтных работ; 5) контроль стоимости ремонтных работ; 6) составление сводного ежеквартального отчета о выполнении средних и капитальных ремонтов основного оборудования. ОГМ имеет бюро планово-предупредительного ремонта (ППР).

Конструкторское бюро (КБ ОГМ) занимается разработкой ремонтных чертежей, проектированием приспособлений, а также другими работами, связанными с механизацией ремонтных работ и модернизацией оборудования.

Для контроля за выполнением плана ППР при главном механике организуется служба технического надзора, которая проводит осмотры и испытания оборудования, контролирует качество ремонтных работ, проверяет правильность эксплуатации оборудования, расследует причины аварии. Эта служба призвана обеспечить контроль за поддержанием оборудования всего предприятия в исправном состоянии. Для этой цели механики отдела технического надзора систематически осуществляют ревизию оборудования, контролируют качество ремонтных работ, ведут техническую документацию.

Ремонтно-строительный цех (РСЦ) занимается ремонтом производственных и бытовых зданий, а также строительством новых помещений. На небольших заводах РСЦ входит в состав ремонтно-механического цеха (РМЦ).

Ремонтно-механический цех осуществляет централизованный ремонт оборудования всего завода. Поэтому РМЦ должен

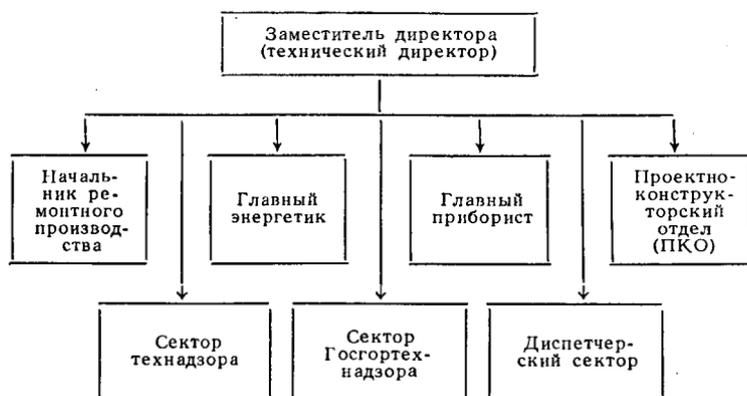
иметь специализированные участки для выполнения ремонта отдельных видов оборудования.

В каждом технологическом цехе завода имеется механик и подчиненная ему ремонтная бригада.

Цеховая ремонтная бригада является частью механической службы завода. Механик цеха подчиняется в административном отношении начальнику цеха, а в техническом — главному механику.

Ремонтная бригада технологического цеха осуществляет межремонтное обслуживание оборудования цеха. Плановые ремонты оборудования (текущий, средний, капитальный) выполняются централизованно ремонтно-механическим цехом. Ремонтная бригада имеет от двух до четырех слесарей в дневную смену и по одному слесарю в остальные смены.

Отделы главного механика, энергетика, прибориста, архитектора подчиняются главному инженеру, который наибольшее внимание уделяет основным производственным цехам, совершенствованию технологии основных производственных процессов, внедрению новой техники и меньшее внимание — вспомогательным цехам. Поэтому для осуществления единого руководства вспомогательными ремонтными службами на некоторых предприятиях используется иная структура управления инженерными службами во главе с техническим директором — заместителем директора предприятия. Типовая структура управления имеет следующий вид:



При этой структуре несколько изменяется подчиненность отдельных служб. Из подчинения начальнику ремонтного производства выделен сектор технадзора с лабораторией дефектоскопии, сектор Госгортехнадзора, ПКО. В подчинении начальника ремонтного производства могут находиться РМЦ, РСЦ, ЭРЦ.

По принципу организации ремонтная служба может быть централизованной, децентрализованной и смешанной.

При централизованной системе техническое обслуживание и ремонт всего оборудования выполняется силами РМЦ. На хими-

ческих заводах ремонт как съёмного, так и несъёмного оборудования может осуществляться бригадами РМЦ, закрепленными за данным технологическим цехом, или специализированными бригадами, обслуживающими все цеха завода (это могут быть бригады по ремонту арматуры, насосно-компрессорного оборудования, вентиляторов и т. п.).

Кроме специализированных бригад, состоящих из слесарей, создаются комплексные ремонтные бригады, состоящие из слесарей, сварщиков, котельщиков, такелажников. Комплексные бригады специализируются на ремонте сложного оборудования (печей, мельниц и т. д.). В этом случае для обеспечения полной занятости членов бригады обязательным является совмещение профессий.

При неполной централизации технического обслуживание выполняется основными рабочими или дежурными слесарями технологического цеха, а все виды ремонтов — ремонтно-механическим цехом.

При децентрализованной системе все виды ремонта проводятся на ремонтных участках технологических цехов. При смешанной системе организации ремонтной службы ремонт выполняется как силами РМЦ, так и силами ремонтных отделений технологических цехов. При этом в РМЦ осуществляется капитальный ремонт оборудования и изготовление запчастей.

Наибольшие возможности для механизации ремонтных работ и повышения производительности труда создает централизованная система. Однако на химических заводах кроме централизованной используется также смешанная система, при которой сохраняются заинтересованность ремонтного персонала технологических цехов в исправном состоянии оборудования, а также подчиненность механической службы технологических цехов основной цели производства — выпуску продукции необходимого качества.

Поскольку ремонт оборудования не является самостоятельным производством, централизация ремонтных работ осуществляется в экономически оправданных пределах, которые исключают увеличение потерь в основном производстве из-за снижения оперативности в выполнении ремонтных работ и возрастания простоев оборудования.

Полная централизация оказывается эффективной для небольших цехов. Для средних и крупных цехов целесообразен смешанный способ выполнения ремонтных работ.

Степень централизации ремонтных работ определяется коэффициентом централизации  $K_{ц}$ :

$$K_{ц} = P/P_0$$

Здесь  $P$  — количество рабочих, находящихся в централизованных ремонтных службах (ОГМ, РМЦ);  $P_0$  — общее количество ремонтного персонала предприятия.

Кроме внутризаводской развивается и межзаводская централизация ремонта. Например, специализированные тресты «Химремстроймонтаж» являются межзаводскими ремонтными предприятиями, которые проводят ремонт на химических предприятиях подрядным способом. Доля работ, выполняемых на предприятиях при капитальном ремонте специализированными трестами, неуклонно возрастает.

Другой формой межзаводской централизации является создание специализированных ремонтных заводов, которые осуществляют ремонт оборудования, поступающего с предприятий, в своих цехах. Ремонт оборудования на специализированных ремонтных заводах становится экономически оправданным, когда

$$C_{\text{рем}} + T + M < C_{\text{хим}}$$

где  $C_{\text{рем}}$  — себестоимость ремонта на специализированном заводе;  $C_{\text{хим}}$  — себестоимость ремонта в условиях химического предприятия;  $T$  — расходы на транспорт и упаковку;  $M$  — расходы на монтаж и демонтаж оборудования.

Для химической промышленности при наличии значительного количества крупногабаритного нетранспортабельного оборудования ремонтные тресты часто являются более удобной формой централизации и специализации ремонта, чем ремонтные заводы. Территориальные ремонтно-строительные тресты располагают квалифицированными кадрами, имеют в своем составе хорошо оснащенные цеха по изготовлению нестандартного оборудования и запчастей. Трест объединяет ремонтно-строительные управления, подчиненность которых тресту, а не химическому предприятию позволяет организовать более действенный контроль их деятельности и более действенную техническую помощь.

Помимо ремонта оборудования специализированные ремонтные предприятия (ремонтные тресты, управления по ремонту, ремонтные участки и базы) осуществляют: 1) изготовление запчастей и оргтехоснастки; 2) разработку и изготовление средств механизации; 3) разработку технологии ремонта; 4) создание обменного фонда оборудования и его отдельных узлов.

Кроме внутризаводской и межзаводской централизации возможна также межотраслевая централизация, при которой ремонт оборудования осуществляет предприятие, выпускающее данное оборудование.

В нефтеперерабатывающей промышленности силами предприятий ремонтируется одна четверть оборудования, две четверти — силами ремонтных организаций отрасли и одна четверть — силами ремонтных организаций других министерств, т. е. четверть объема ремонтных работ выполняется хозяйственным способом и три четверти — подрядным.

По организации работ ремонты могут быть классифицированы следующим образом.

По месту работ: 1) ремонт на месте установки машины; 2) ремонт всей машины в РМЦ; 3) ремонт «скелета» машины на месте установки, а узлов — в РМЦ.

По объему ремонта: 1) подетальный — замена изношенных деталей; 2) поузловой — замена отдельных узлов; 3) помашинный — замена всей машины резервной машиной.

По времени работ: 1) равномерно распределенный на весь год; 2) сосредоточенный на период остановки технологической установки (остановочный ремонт); 3) сосредоточенный на часть года (сезонный ремонт).

Каждый вид ремонта имеет свои достоинства. Ремонт в РМЦ более экономичен и высококачествен, однако часть работ приходится выполнять на месте установки машины.

Ремонт может быть подготовительным, когда запасная деталь, узел или вся резервная машина подготавливаются для замены изношенного элемента заранее, до остановки машины на ремонт. Такой ремонт позволяет значительно сократить простой машины. При этом большая часть объема ремонта проводится заранее, а меньшая часть, связанная в основном с демонтажом изношенного элемента и монтажом запасного элемента, — в период остановки машины на ремонт.

Различают узловой, помашинный и поагрегатный методы ремонта. Узловой метод ремонта — замена изношенных узлов новыми или заранее отремонтированными запасными узлами. Помашинный и поагрегатный методы ремонта предполагают замену всей машины или агрегата новыми или заранее отремонтированными единицами. При узловом методе ремонта машина должна быть рационально расчленена на узлы. Например, резино-смеситель расчленяется на смесительную камеру в сборе с роторами, нижний затвор и загрузочную камеру с верхним затвором; вращающаяся печь расчленяется на барабан, передний и задний бандажи, переднюю и заднюю опорные станции, венцовую шестерню и привод печи, загрузочное и разгрузочное устройство.

Стоимость запасных узлов, машины или агрегата окупается за счет прибыли, получаемой от выпуска дополнительной продукции за время, сэкономленное на простое в ремонте. После этого узловой, помашинный или поагрегатный методы ремонта начинают давать прибыль по сравнению с подетальным (индивидуальным) методом.

Узловой метод применяется и при ремонте технологических установок. Он позволяет ремонтировать и изготавливать новые узлы в РМЦ либо на заготовительном участке с более высоким качеством. Однако узлы технологических установок отличаются значительным весом, поэтому механизация ремонта установок связана в основном с механизацией грузоподъемных и транспортных операций. Для механизации ремонта установок с использованием этого метода на существующих установках изготавливаются кран-

балки различной грузоподъемности, имеющие выход за пределы установки или здания цеха.

Равномерно распределенный на год ремонт обеспечивает равномерную загрузку ремонтных цехов и бригад. Однако все оборудование, связанное в единую технологическую схему, приходится останавливать на ремонт одновременно, поэтому возникает необходимость сосредоточенного ремонта. Ремонт, сосредоточенный на определенную часть года (сезон), необходим для оборудования, установленного на открытых площадках.

Наряду с плановыми остановками на текущий и капитальный ремонты отдельных машин и аппаратов предусматриваются плановые периодические остановки на ремонт оборудования всей технологической цепочки через определенные промежутки времени. Такие плановые остановочные ремонты необходимы для проведения капитального ремонта тех систем и узлов, которые не могут быть отремонтированы в процессе работы цеха или предприятия. К этим системам относятся единичные аппараты, как правило, большой мощности, цеховые трубопроводы, газовые коллекторы, газгольдеры, сети канализации и вентиляции.

Остановка на ремонт в различное время оборудования, входящего в химико-технологическую систему, снижает производительность всей цепочки аппаратов. Приурочивание ремонта всего оборудования технологической схемы к одному периоду ведет к уменьшению простоев химико-технологической системы. При остановочных ремонтах заменяются детали и узлы, срок службы которых еще не истек, однако затраты на такой ремонт гораздо меньше тех убытков, которые могли бы возникнуть при внеплановом простое системы из-за отказа этих деталей и узлов.

Остановочный капитальный ремонт завода, цеха или особо важного объекта химико-технологической системы применяется для общезаводских и общецеховых коммуникаций, общезаводских или цеховых сооружений, магистральных канализационных сетей, технологических установок, не имеющих резерва (дублера).

В период остановочного ремонта осуществляется подключение новых аппаратов с врезкой трубопроводов. Подобные остановочные ремонты планируются на теплый (осенне-летне-весенний) период года. Планирование таких ремонтов на теплый период года объясняется установкой части оборудования на открытых площадках.

Перед остановочным ремонтом должны быть проведены подготовительные работы. К ним относятся подготовка лесов, подмостей и арматуры, изготовление необходимого количества крепежа и фланцев. Запасные узлы, которые невозможно изготовить на ремонтном участке (например, роторы компрессоров, трубные пучки, насадка реакционных колонных аппаратов), должны быть заранее получены со специализированных машиностроительных заводов.

В организационном отношении остановочный ремонт является сложным видом ремонта. Оборудование технологической установки может размещаться на высоте, что усложняет проведение ремонтных работ. Компактность размещения оборудования приводит к стесненным условиям проведения ремонтных работ. При остановочных ремонтах необходима разработка проекта проведения ремонта и применение методов сетевого планирования и управления. Проект организации ремонта должен включать следующие этапы: 1) подготовку технической документации на ремонт (чертежи оборудования, ремонтные чертежи, технические условия и инструкции на ремонт); 2) разработку технологии ремонта основного оборудования с учетом норм ППР; 3) мероприятия по подготовке ремонтной оснастки и средств механизации; 4) составление дефектной ведомости и уточнение ее при разборке машины.

При дефектации выявляются изношенные и подлежащие восстановлению или замене детали. В дефектной ведомости перечисляются дефекты по каждому узлу с указанием деталей, которые подлежат замене или восстановлению. Изготовление или восстановление деталей осуществляется в соответствии с ремонтными чертежами. На чертежах ремонтируемые места деталей выделяются утолщенной сплошной линией.

Если оборудование вышло из строя из-за износа основных деталей или в результате аварии, то для его списания составляется комиссия в составе механика цеха, начальника цеха, главного механика, главного инженера, главного бухгалтера. Когда стоимость списываемого оборудования относится за счет прибыли предприятия, акт на списание утверждает директор предприятия. Если стоимость списываемого оборудования относится за счет уставного фонда, то акт утверждается вышестоящей организацией.

Совершенствование организационных форм и проведение единой технической политики в области ремонта осуществляется отделами или лабораториями по эксплуатации и ремонту при отраслевых научно-исследовательских институтах. Эти лаборатории разрабатывают новые нормативы межремонтного пробега и нормативно-техническую документацию по вопросам эксплуатации, ревизии и отбраковки оборудования, средства механизации ремонтных работ, методы сварки, наплавки, термообработки, дефектоскопии, контроля, решают вопросы повышения надежности оборудования.

## 1.2. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Роль технического обслуживания для поддержания технического ресурса оборудования очень велика. Анализ статистических данных показывает, что половина отказов оборудования происходит из-за некачественного технического обслуживания.

Системой ППР называется комплекс организационных и технических мероприятий по обслуживанию и ремонту оборудования, проводимых профилактически по заранее составленному плану для обеспечения безотказной работы оборудования.

Цели технического обслуживания и ремонта: 1) предупреждение аварий оборудования; 2) возможность выполнения ремонтных работ по плану, согласованному с планом производства; 3) своевременная подготовка запчастей, материалов и рабочей силы и минимальный простой оборудования в ремонте.

В целом система ППР служит для поддержания оборудования в исправном состоянии, т. е. путем плановых ремонтов она должна обеспечить работоспособность оборудования при сохранении его высокой производительности. Плановое проведение ремонтов позволяет также создать равномерную загрузку ремонтных бригад, повысить качество ремонтов и снизить расходы на ремонт.

Планово-предупредительные ремонты проводятся по методу планово-периодических принудительных ремонтов для основного оборудования и по методу последосмотровых ремонтов для вспомогательного оборудования. Например, метод последосмотровых ремонтов применяется при ремонте трубопроводов и арматуры. Предприятиям, достигшим высокого уровня организации и качества ремонта, вышестоящая организация может разрешить применение метода последосмотровых ремонтов и для конкретных видов основного оборудования, распространяя его преимущественно на капитальные ремонты.

Метод последосмотровых ремонтов предполагает выполнение ремонта по сроку и объему только после предшествующего ему периодического осмотра. Периодичность осмотров устанавливается по ориентировочным срокам службы деталей машин. Метод последосмотровых ремонтов позволяет увеличить межремонтный пробег вспомогательного оборудования и снизить стоимость ремонта оборудования.

Отнесение оборудования к основному или вспомогательному зависит от степени влияния отказа этого оборудования на работу технологической линии. Если отказ оборудования ведет к остановке технологической линии (установки), то оно относится к основному и его ремонт проводится в принудительном порядке по методу планово-периодических ремонтов.

График ППР должен предусматривать: 1) затраты времени на ремонт; 2) затраты рабочей силы на ремонт; 3) необходимое количество запчастей и ремонтных приспособлений; 4) проведение модернизации в период остановки оборудования на ремонт.

Планово-предупредительный ремонт осуществляется периодически в плановом порядке через определенное количество часов непрерывной работы. Содержание и объем каждого ремонта устанавливаются окончательно в процессе его выполнения с учетом выявленного состояния агрегатов. При составлении плана ремонта учитывается межремонтный цикл для данного вида оборудования.

Межремонтным циклом называется время работы между двумя капитальными ремонтами.

Для вновь установленного оборудования межремонтным циклом будет период от начала ввода этого оборудования в эксплуатацию до первого капитального ремонта.

Длительность межремонтного цикла изменяется в зависимости от отработанного оборудованием времени, числа проведенных ремонтов, состояния оборудования и качества его эксплуатации.

Кроме межремонтного цикла используется понятие межремонтного периода — времени между двумя ремонтами любой категории.

Система ППР предусматривает следующие виды обслуживания и ремонтов: техническое (межремонтное) обслуживание; текущий ремонт; капитальный ремонт.

Техническое обслуживание — это комплекс работ для поддержания работоспособности оборудования между ремонтами. Техническое обслуживание осуществляется эксплуатационным (аппаратчик, машинист, оператор) и обслуживающим персоналом (дежурный слесарь, электрик, помощник мастера) по действующим на предприятии правилам технической эксплуатации и безопасного обслуживания.

В объем технического обслуживания входят:

1) эксплуатационный уход — обтирка, чистка, наружный осмотр, смазка, проверка состояния систем охлаждения подшипников, наблюдение за состоянием крепежных деталей, проверка исправности заземления; все обнаруженные неисправности должны быть зафиксированы эксплуатационным персоналом в сменном журнале и устранены в возможно короткий срок силами эксплуатационного и обслуживающего персонала;

2) мелкий ремонт оборудования — подтяжка креплений и контактов, частичная регулировка, замена предохранителей, контактов, выявление общего состояния изоляции; обслуживающий персонал должен регулярно просматривать записи эксплуатационного персонала в сменном журнале и принимать меры по устранению указанных в нем неисправностей.

Для конкретного оборудования указания по техническому обслуживанию приводятся в «Инструкции по эксплуатации» или в «Инструкции по техническому обслуживанию». Содержание инструкций по эксплуатации и инструкций по техническому обслуживанию регламентируется ГОСТ 2601—53. Проведение технического обслуживания, как видно из предыдущего, требует остановки оборудования.

Текущий ремонт — это ремонт, осуществляемый в процессе эксплуатации для гарантированного обеспечения работоспособности оборудования и состоящий в замене и восстановлении отдельных частей оборудования и их регулировке. Такой ремонт выполняется с разборкой отдельных сборочных единиц. Он включает следующие операции: 1) промывку машин или аппаратов

с заменой смазки; 2) регулировку сборочных единиц, подверженных наибольшему износу и несущих большие нагрузки; 3) разборку узлов с последующей заменой и ремонтом деталей, срок службы которых соответствует длительности одного межремонтного периода; 4) сборку и проверку отремонтированных сборочных единиц; 5) ремонт футеровок и антикоррозионных покрытий; 6) проведение работ, общих для периодических осмотров.

Текущие ремонты проводятся в нерабочие смены, в выходные дни, а при непрерывной работе — в плановые дни, специально выделенные для этого вида ремонта.

Количество, объем, содержание и сроки текущих ремонтов оборудования определяются продолжительностью службы деталей и интенсивностью использования машин и аппаратов в предремонтный период.

Результаты текущего ремонта и технологической проверки, выявленные дефекты и работы по их устранению регистрируются в ремонтной карте.

Капитальный ремонт — это ремонт, осуществляемый с целью восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые, и их регулировкой. Этот вид ремонта характеризуется одновременной сменной большого количества деталей, сборочных единиц и комплексов. При капитальном ремонте оборудование полностью восстанавливается, а его эксплуатационные характеристики доводятся до соответствия техническим условиям на новое или отремонтированное оборудование. В состав капитального ремонта входят: 1) полная разборка и промывка машины или аппарата; 2) ремонт или замена изношенных деталей, сборочных единиц и комплексов; 3) шабровка направляющих, регулировка и выверка всех координат машины или аппарата до установленных технической документацией норм точности; 4) проверка фундаментов, станин, базовых деталей, антикоррозионных покрытий; 5) сборка машины или аппарата с проверкой качества сборки; 6) проверка машины или аппарата на холостом ходу и под нагрузкой. Кроме того, в капитальный ремонт могут быть включены работы по модернизации машины или аппарата, а также по автоматизации и механизации применительно к технологическому процессу.

По окончании капитального ремонта машина или аппарат сдаются по акту комиссии в составе главного механика, инженера отдела технического надзора, инженера по технике безопасности и начальника производства.

В большинстве зарубежных стран средний ремонт оборудования тоже не проводится, а осуществляются следующие виды ремонта: планово-предупредительное обслуживание, текущий аварийный (неплановый) ремонт, плановый капитальный ремонт. Предупредительное обслуживание включает наружный осмотр, смазку, устранение мелких дефектов, а также замену

изношенных деталей запасными частями как в плановые сроки, так и при значительном износе. На предупредительное обслуживание приходится 60% стоимости всех ремонтов, на аварийный ремонт — 10—15% стоимости всех ремонтов.

Нормативы для планирования ремонта включают длительность межремонтного периода, а также нормы времени на выполнение ремонтных работ, простоя оборудования в ремонте, нормы трудозатрат на ремонт.

Ремонтные нормативы состоят из трех разделов. Первый из них содержит нормативы на ремонт общего оборудования, остальные — нормативы на ремонт специального оборудования отдельных отраслей химической промышленности.

В «Системе технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий химической промышленности» приводятся оптимальные значения нормативов, однако разрешаются следующие отклонения от норматива межремонтного ресурса:  $\pm 15\%$  между текущими ремонтами,  $\pm 10\%$  между капитальными ремонтами.

Межремонтным ресурсом (циклом) называется период работы (наработка) оборудования (в ч), в течение которого обеспечивается его заданная эффективность. Существует два вида межремонтных ресурсов: 1) ресурс до первого капитального ремонта и 2) очередной межремонтный ресурс. Ресурс до первого капитального ремонта — это наработка оборудования от начала эксплуатации до первого капитального ремонта. Он устанавливается заводом-изготовителем и указывается в технических условиях. Очередной межремонтный ресурс включает длительность работы оборудования между двумя последовательными ремонтами. Нормативами определяется структура ремонтного цикла. Объем текущего ремонта составляет 10—20% объема капитального ремонта. Кроме того, применяется текущий ремонт увеличенного объема (30—40% объема капитального ремонта).

Время простоя оборудования в ремонте складывается из периодов проведения подготовительных, ремонтных и заключительных (послеремонтных) работ. В подготовительные работы входит остановка оборудования, удаление продукта, продувка, промывка, пропарка и т. п. Продолжительность ремонтных работ включает время для проведения одного ремонта и для испытания на прочность, плотность и обкатку на холостом ходу. Заключительные работы — рабочая обкатка оборудования и вывод его на эксплуатационный режим.

Трудоемкость ремонта представляет собой затраты труда на проведение одного ремонта и рассчитывается с учетом сложности и конструктивной особенности оборудования. Оценка трудоемкости ремонта может выражаться как в абсолютных величинах (человеко-часах или днях), так и в относительных. При относительной оценке трудоемкость ремонта какого-либо вида оборудования принимается за эталон. Эта величина называется также условной и соответствует примерно 40—55 нормо-часам.

Относительная оценка трудоемкости ремонта с использованием таких показателей, как единица ремонтной сложности и категории сложности ремонта, применяется в машиностроительной промышленности.

Система ППР не свободна от недостатков. Непрерывное повышение надежности и ремонтпригодности оборудования требует внесения соответствующих изменений в систему ППР. Ниже указаны основные направления совершенствования системы ППР.

1. Научное обоснование нормативов межремонтных пробегов. В настоящее время система ППР строится на основе опытно-статистических нормативов, которые зависят от ряда субъективных факторов. Разработка технически обоснованных нормативов межремонтных пробегов позволит создать научный фундамент системы ППР.

2. Совершенствование структуры межремонтных циклов. Применение износостойких материалов и защитных покрытий, улучшение обслуживания и эксплуатации оборудования и другие мероприятия, ведущие к повышению надежности оборудования, дают возможность увеличить межремонтный пробег оборудования. Таким образом, технический прогресс требует совершенствования структуры межремонтных циклов с целью обеспечения минимальных затрат на ремонт. Совершенствование структуры межремонтного цикла возможно в основном за счет сокращения плановых (текущих) ремонтов и увеличения длительности межремонтных периодов.

3. Сокращение времени простоя оборудования в ремонте и снижение трудозатрат на ремонт. Узловой метод ремонта позволяет уменьшить продолжительность ремонта. Освоение смежных профессий ремонтными рабочими тоже ведет к уменьшению простоя в ремонте. Эти примеры показывают, что выявление резервов сокращения затрат времени и труда на ремонт могут привести к соответствующим изменениям в нормативах системы ППР.

4. Разработка нормативов системы ППР на остановочные ремонты.

5. Замена средних показателей межремонтных пробегов дифференцированными показателями с учетом работы оборудования: а) оборудование, работающее в нормальных условиях (нейтральные среды, невысокие температуры); б) оборудование, работающее в тяжелых условиях (коррозионные среды, повышенные температуры, значительные запыленность и влажность).

6. Учет в нормативах процесса старения оборудования и необходимости увеличения затрат по мере эксплуатации оборудования.

### **1.3. СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ**

**Составление сетевого графика.** Сетевое планирование и управление (СПУ) представляет собой комплекс расчетных методов, организационных мероприятий и контрольных приемов,

предназначенных для планирования и управления ходом работ. Сетевой график — это графическое изображение комплекса работ, показывающее их логическую, временную и технологическую последовательность и взаимосвязь.

Использование сетевых графиков на ремонтных работах в химической промышленности показало возможность сокращения сроков ремонта на 20—30%. Примерно 20% объема ремонтных работ проводится по сетевым графикам. При этом СПУ используется при ремонте наиболее крупных установок.

Математической основой СПУ является теория графов. Граф — это множество элементов двух видов — вершин и ребер; две вершины соединяются ребром, и каждое ребро, имеющее направление от одной вершины к другой, называется путем. Таким образом, при сетевом планировании математическая зависимость явления (событий) от определяющих параметров (работ) выражается не в виде математического соотношения, а в виде геометрической фигуры — графа.

В сетевой график включаются поставки материалов, оформление заявок и заказов. Слишком подробная детализация работ в сетевом графике приводит в процессе оперативного управления к излишнему контролю. Чрезмерное укрупнение работ снижает эффективность системы СПУ.

Метод СПУ предусматривает два этапа: 1) составление и оптимизацию сетевого графика; 2) оперативное управление.

График ППР является линейным. В нем перечисляется оборудование, указываются сроки его ремонта и затраты времени и средств на ремонт. Работы в таком линейно-календарном плане показываются отдельно одна от другой без учета взаимосвязи. В ремонте крупных технологических установок участвуют различные организации-исполнители работ. Одни из этих организаций готовят фронт работ для других. Такая взаимозависимость различных видов работ приводит к тому, что во многих случаях время ремонта превышает его запланированную продолжительность. В отличие от линейного, сетевое планирование позволяет сократить простой установок при ремонте, заранее планировать последовательность работ, следить за выполнением каждой работы в отдельности, выявлять и устранять появляющиеся в ходе ремонта задержки, вскрывать дополнительные резервы экономии времени.

Для составления сетевого графика на предприятии в составе РМЦ или специализированного ремтреста создается группа сетевого планирования и управления. Основой для составления сетевого графика служит дефектная ведомость.

Работники группы СПУ по дефектной ведомости в соответствии с действующими нормами трудозатрат, а также с экспертными оценками начальников и механиков установок составляют первый вариант сетевого графика. Проект сетевого графика рассматривается руководителем группы СПУ, руководителем ремонта

и руководителем установки. После этого разрабатывается окончательный вариант сетевого графика, который утверждается главным механиком завода, размножается и рассылается ответственным исполнителям работ.

Для составления сетевого графика используется ряд условных обозначений и понятий. График состоит из кружков (или квадратов) и соединяющих их линий. Кружок обозначает конечный результат работ, или событие, — факт окончания одной или нескольких работ. Линия со стрелкой обозначает работу — производственный трудовой процесс, требующий затрат времени и ресурсов. Любая такая линия соединяет два события — непосредственно предшествующее данной работе (начальное событие) и следующее за ней (конечное событие). Все события обозначаются цифрами. Номера событиям присваиваются такие, чтобы номер предшествующего события был меньше номера последующего. Работа обозначается двумя цифрами — номерами предыдущего и последующего событий. Применяется также обозначение работ латинскими буквами (*a, b, c, ...*). Наименование работы может быть написано непосредственно над стрелкой.

Работы могут иметь различный характер, поэтому соответствующие им линии обозначаются по-разному.

1. Производственный трудовой процесс (т. е. действительная работа, требующая затрат времени и труда) обозначается сплошной линией со стрелкой.

2. Ожидание — работа, не требующая затрат труда, но занимающая время (например, для застывания бетона, высыхания краски и т. д.), обозначается штрихпунктирной линией со стрелкой.

3. Зависимость, или фиктивная работа, — связь между событиями, не требующая затрат времени и ресурсов и указывающая, что возможность начала одной работы непосредственно зависит от результатов других работ, показывает точную очередность выполнения работ и обозначается пунктирной линией со стрелкой.

Понятие фиктивной работы позволяет отражать на сетевом графике логические связи работ.

4. Поставки оборудования или материалов также относятся к работе.

Сетевой график строится по приведенным ниже правилам.

1. Обычно направление стрелок принимается слева направо. Большинство работ следует изображать горизонтальными линиями.

2. Если между двумя событиями требуется выполнить несколько параллельных работ, то эти работы обозначаются параллельными линиями. Кроме того, вводится дополнительное событие и зависимость. Например, на рис. 1.1 между событиями 2 и 4 необходимо выполнить две параллельные работы 2—3 и 2—4. Эти работы изображены параллельными линиями. Для изображения второй работы введено дополнительное событие 3, и пунктирной стрелкой обозначена зависимость 3—4. Эта зависимость

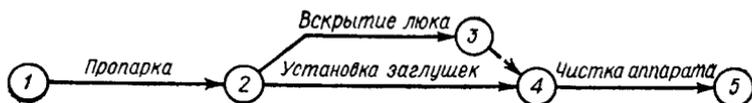


Рис. 1.1. Обозначение параллельных работ.

обозначает, что событие 4 не наступит до того, пока не наступило событие 3. То, что зависимость (фиктивная работа) не является действительной работой, заметно по отсутствию наименования на пунктирной линии. Параллельные работы могут обозначаться также одной линией при укрупнении сетевых графиков. Дополнительное событие и фиктивная работа вводятся для того, чтобы при обработке крупных графиков (с числом работ более 1000) не возникало сложностей в работе ЭВМ. Графики с числом работ менее 1000 целесообразно обрабатывать вручную.

3. Если выполнение части работы служит условием выполнения одной или нескольких других работ, выполненную часть работы целесообразно обозначать как самостоятельную, а всю первоначальную работу — как совокупность двух или нескольких последовательных.

Непрерывная последовательность работ в сетевом графике называется путем. Длина пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ. Путь наибольшей длины между начальным и конечным событиями носит название критического. Работы, лежащие на критическом пути, называются критическими. Общая продолжительность зависит от критических работ. Между начальным и конечным событиями может быть несколько путей. Критический путь изображается утолщенной или двойной линией. Некритические пути имеют запас времени по сравнению с критическим путем.

При составлении сетевого графика все оборудование установки разделяют на группы. В группу могут входить одна или несколько единиц оборудования, расположенного на данном этаже, той же площадке, в одном помещении. Для каждой группы составляют групповой сетевой график. Возле сетевого графика помещают таблицу с обозначением и наименованием работ, указанием их объема, исполнителей и сроков исполнения. Кроме того, к каждому групповому графику прилагают таблицу поставки материалов, необходимых для проведения каждой работы с указанием поставщика и сроков поставки.

Составление сетевого графика на ремонт машины или аппарата осуществляется следующим образом. Группа СПУ совместно с ответственным исполнителем (механик цеха, начальник РМЦ, начальник участка) на основе дефектной ведомости определяет общую технологическую последовательность ремонтных работ. Ответственный исполнитель под методическим руководством группы СПУ составляет технологические карты ремонта аппарата в виде частного графика. В этих графиках отражается последова-

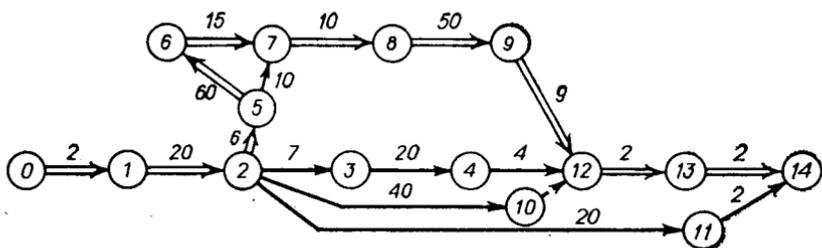


Рис. 1.2. Сетевой график ремонта ректификационной колонны

тельность и взаимосвязь работ по ремонту, начальные, промежуточные и конечные события. Ответственный исполнитель определяет также объем подготовительных работ и необходимые количества материалов, инструментов, запасных частей. Частные графики передаются в группу СПУ.

Сводный график на весь комплекс работ составляется группой СПУ совместно с ответственными исполнителями путем сшивки групповых графиков. При сшивке проводится укрупнение элементов групповых графиков. Однако работы, выполняемые разными исполнителями, при укрупнении объединять нецелесообразно.

Для широко применяемых аппаратов разрабатываются типовые сетевые графики. Сетевая модель однотипных аппаратов имеет единую основу (основную ветвь) и переменную сеть работ, учитывающих конструктивные особенности и условия работы аппарата. Типовые сетевые графики разрабатываются не только на ремонтные работы, но и на остановку и пуск технологических систем. Необходимость разработки таких сетевых графиков связана со сложной обвязкой аппаратов системы и большим количеством событий, необходимых для остановки или пуска этой системы.

К таким событиям относятся: снижение разрежения или давления, прекращение подачи пара или сырья, понижение температуры, остановка и пуск насосов, зажигание и тушение форсунок, закрытие и открытие задвижек, продувка и промывка, установка и снятие заглушек, дренаж коммуникаций и аппаратов и т. д.

На рис. 1.2 представлен сетевой график технологии ремонта ректификационной колонны. Расшифровка работ представлена в табл. 1.1.

На сетевой модели технологии ремонта ректификационной колонны прослеживаются четыре параллельные линии работ. Кроме того, на верхней линии имеется две параллельные работы между событиями 5 и 7. Зависимость 10—12 является фиктивной работой, поэтому она обозначена штриховой линией. Следовательно, событие 10 введено как дополнительное. На стрелках указаны затраты времени на ремонт (в человеко-днях). Для нахождения критического пути определяется продолжительность работы по всем возможным путям. Продолжительность работ 0—1—2—11—14 составляет  $2 + 20 + 20 + 2 = 44$  человеко-

Шифры работ	Наименование работы
0—1	Отглушка аппарата
1—2	Пропарка, промывка
2—3	Снятие предохранительного клапана и запорной арматуры
3—4	Ревизия и ремонт предохранительного клапана и запорной арматуры
4—12	Установка предохранительного клапана и запорной арматуры
2—5	Вскрытие люков
5—6	Разборка тарелок
6—7	Чистка тарелок, сливных стаканов, куба колонны
5—7	Ревизия колонны
7—8	Ремонт штуцеров, люков, деталей тарелок
8—9	Сборка тарелок и проверка на барботаж
9—12	Закрытие люков
2—10	Ремонт и монтаж трубопроводов и металлоконструкций
2—11	Ремонт изоляции
12—13	Опрессовка, устранение дефектов
13—14	Снятие заглушек
11—14	Окраска

дня. Продолжительность работ 0—1—2—3—4—12—13—14 равна 57 человеко-дням. Продолжительность работ 0—1—2—5—6—7—8—9—12—13—14 составляет 176 человеко-дней. Таким образом, последний путь будет наиболее продолжительным, т. е. критическим. На чертеже он обозначен двойной линией.

Типовая сетевая модель ремонта теплообменника представлена на рис. 1.3 и в табл. 1.2.

Сетевые графики могут быть как масштабными, так и безмасштабными. Масштабные сетевые графики строятся на шкале времени. При этом чаще всего единицей шкалы времени являются сутки или смена. Нормы времени могут браться не только из экспертных оценок исполнителей работ, но также и из инструкций по ремонту с округлением для простоты расчетов.

СПУ способствует лучшей организации труда, улучшению технико-экономических показателей ремонтной службы и по-

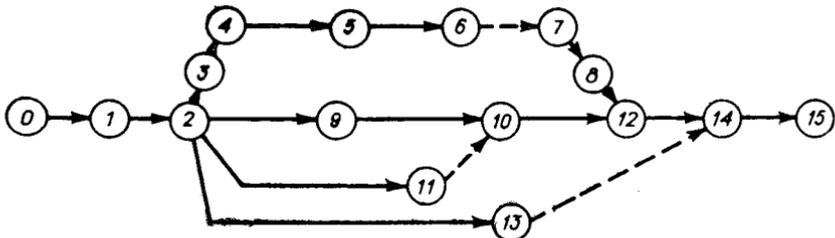


Рис. 1.3. Типовая сетевая модель ремонта кожухотрубчатого теплообменника с жестко закрепленной трубной решеткой.

Шифр работы	Наименование работы
0—1	Установка заглушек
1—2	Пропарка, промывка
2—3	Демонтаж обвязки
3—4	Разборка теплообменника
4—5	Чистка
5—6	Ремонт трубного пучка
7—8	Сборка теплообменника
8—12	Монтаж обвязки
2—9	Демонтаж запорной арматуры
9—10	Ревизия и ремонт запорной арматуры
10—12	Монтаж запорной арматуры
2—11	Ремонт и монтаж трубопроводов обвязки
12—14	Опрессовка, устранение дефектов
2—13	Ремонт и монтаж металлоконструкций
14—15	Снятие заглушек

вышает ответственность исполнителей за сроки выполнения работ.

Преимущества сетевого графика следующие: 1) наглядное представление последовательности и взаимозависимости проводимых работ; 2) отпадает необходимость пересоставления графика при изменении условий ремонта (на сетевой модели достаточно изменить цифры, указывающие продолжительность работ); 3) в составлении графика и определении продолжительности каждой из работ принимают участие исполнители, т. е. используется опыт и знания большого числа специалистов; 4) выявление критических работ; 5) более эффективное использование ресурсов; 6) точный контроль за ходом ремонта, возможность быстрой и своевременной корректировки графика, прогнозирования хода ремонта.

**Оптимизация сетевого графика.** Под оптимизацией понимается приведение параметров сетевого графика к заданным требованиям. Сетевой график обязан отвечать следующим требованиям: 1) критический путь не должен превышать установленную продолжительность ремонта; 2) потребная численность рабочих любой специальности не должна превышать их фактической численности; 3) механизмы должны использоваться равномерно и полностью.

Критерием оптимизации могут быть продолжительность ремонта, материальные затраты, людские ресурсы, технические показатели.

Оптимизация сетевого графика возможна путем сокращения критического пути при выполнении ремонтных работ или путем сокращения численности рабочих за счет рациональной их расстановки, ликвидации простоев и механизации трудоемких работ.

Критический путь не имеет резерва времени. Некритические пути имеют резервы времени. Это означает, что задержка

в выполнении работ, не лежащих на критическом пути, вплоть до исчерпания резерва времени не оказывает влияния на продолжительность выполнения всей работы. Эти резервы времени используются для оптимизации. Перевод рабочих с некритических работ на критические ведет к увеличению продолжительности некритических работ; это не грозит увеличением срока завершения работ в целом и одновременно позволяет уменьшить продолжительность работ критического пути.

Возможные способы оптимизации: 1) пересмотр сетевого графика, т. е. изменение последовательности выполнения работ (расчленение и введение параллельных критических работ); 2) изменение сроков выполнения работ, имеющих резервы времени, с целью сокращения критического пути; 3) сокращение продолжительности критических работ за счет перераспределения технологии проведения этих работ.

Исполнитель работ при составлении сетевого графика дает оценки продолжительности всех закрепленных за ним работ. При оптимизации возможно согласованное снижение этих оценок. Однако недопустима оптимизация путем волевого урезания оценок продолжительности работ.

При оптимизации выявляются новые критические пути меньшей продолжительности. Если не удастся получить сетевой график, удовлетворяющий заданному времени простоя в ремонте и имеющейся численности рабочих, то ставится вопрос о пересмотре срока простоя в ремонте или о выделении дополнительных людских ресурсов. Утвержденный сетевой график размножается и передается ответственным исполнителям и руководителю работ.

В результате оптимизации достигается равномерная загрузка специальных механизмов и рабочего персонала, сокращается до минимума срок выполнения ремонтных работ. Недостатком оптимизации является увеличение количества подкритических путей, т. е. путей, близких к критическому и с малым резервом времени, что ведет к усилению роли контроля за ходом выполнения работ.

В заключение необходимо отметить, что для проведения монтажных работ сетевой график оптимизируется по следующим параметрам: 1) обеспечение оптимальной загрузки основных монтажных механизмов — тяжелых кранов; 2) обеспечение фронта работ смежникам — строителям, тепломонтажникам, монтажникам контрольно-измерительных приборов; 3) обеспечение рациональной технологии монтажа.

**Оперативное управление.** Сетевой график упрощает управление ремонтом, так как является очень простой моделью технологии ремонта, содержащей набор всего двух элементов — работ и событий. Сетевой график, составленный на стадии планирования, может меняться в период сетевого управления. Оперативное управление в период ремонта связано с непрерывной корректировкой графика и имеет следующие задачи: 1) контроль за фактическим

состоянием выполнения работ; 2) анализ расхождения между запланированным и фактическим ходом работ; 3) выработка организационно-технических мероприятий, обеспечивающих выполнение работ в запланированные сроки. Специфика оборудования химической промышленности такова, что часто объем ремонтных работ может быть определен только в процессе демонтажа и разборки аппарата. Это повышает требования к оперативному управлению ремонтом.

Для оперативного управления создается специальная группа, в которую входят: 1) группа СПУ; 2) главный инженер или его заместитель; 3) начальник РМЦ; 4) механик цеха или установки; 5) уполномоченные представители подрядных организаций.

Группа СПУ относится к техническим службам предприятия и является самостоятельным структурным подразделением, подчиненным непосредственно главному инженеру. Руководитель группы СПУ и ответственные исполнители административно друг другу не подчиняются.

Таким образом, в оперативном управлении или в руководстве ремонтом группа СПУ служит рабочим органом. Оперативная группа (или группа оперативного контроля) определяет форму и порядок сбора информации. При управлении ремонтом собирается информация о ходе выполнения критических работ, а также периодически собирается информация о работах, находящихся на подкритических путях, и прочих работах сетевого графика. Группа СПУ отмечает законченные и начатые за прошедший день работы. Незавершенные работы оцениваются в долях от запланированного объема и времени. По фактическому ходу работ оценивается опережение или отставание от запланированного объема работ относительно сетевого графика. Отставание может быть обусловлено не только организационными причинами, но и появлением дополнительных работ, например из-за некачественной дефектной ведомости или в результате того, что в сетевой график не включены подготовительные работы. В ремонте принимают участие ремонтно-механический и ремонтно-строительный цеха, конструкторское бюро, отдел оборудования, ОГМ, отдел снабжения, цех КИП и т. д. Сетевой график должен быть согласован со всеми службами предприятия, участвующими в подготовке и проведении ремонта.

Оперативная группа вырабатывает мероприятия, способствующие ликвидации отставания и своевременному завершению работ. Регулярную информацию о ходе проводимого ремонта представляет группа СПУ. Она же подготавливает предложения для принятия руководителем ремонта и ответственными исполнителями оперативных решений и осуществляет контроль за выполнением этих решений. Группа оперативного управления собирается на оперативные совещания. Опыт применения СПУ при ремонте оборудования химических заводов показывает, что при средней продолжительности ремонта 25 дней оперативные

совещания проводятся ежедневно, а при средней продолжительности ремонта 50 дней — один раз в два дня. При монтаже оборудования оперативные совещания проводятся один раз в неделю.

Если исчерпаны все возможности завершения ремонтных работ в срок, оперативная группа ставит перед вышестоящей организацией вопрос о пересмотре запланированного срока ремонта или о выделении дополнительных ресурсов. Служба СПУ вносит изменения в сетевые графики и осуществляет контроль выполнения принятых решений. После завершения всех работ и сдачи установки в эксплуатацию оперативная группа составляет отчет и анализирует ход ремонта.

Чтобы управленческие процедуры (пересчеты, прикидки) проводились с максимальной быстротой, группа СПУ использует вычислительный центр. Применение ЭВМ для обработки сетевых графиков позволяет также увеличить производительность труда инженерно-технических и руководящих работников.

Опыт использования СПУ при ремонте показывает, что при составлении сетевого графика часто указываются крупные работы с длительным сроком выполнения, которые не позволяют осуществлять оперативный контроль, некоторые ответственные исполнители значительно завышают оценку времени выполнения своих работ, поставщики оборудования и материалов иногда не включаются в сетевой график и не ставятся в известность о необходимости выполнения поставок в определенный срок. Эти недостатки необходимо учитывать при корректировке сетевого графика в период оперативного управления. Дополнительные работы, возникающие в ходе оперативного управления, обозначаются цифрой с буквенным индексом, чтобы не менять принятую нумерацию работ (например, 2б и т. д.).

**Автоматизированная система управления ремонтной службой.** Для повышения эффективности производства на предприятиях внедряются автоматизированные системы управления предприятием (АСУП).

Автоматизированная система управления ремонтной службой входит в АСУП как составная часть (подсистема). Цель автоматизированной подсистемы управления обслуживанием и ремонтом оборудования (АПУОРО) — повышение эффективности ремонтной службы за счет снижения издержек производства, увеличения производительности труда и улучшения использования производственных фондов. Необходимым условием внедрения АПУОРО является использование ЭВМ для решения инженерно-технических и планово-учетных задач.

При разработке АПУОРО проводится анализ структуры ремонтной службы предприятия и нормативов на ремонт и обслуживание. Все плановые и учетные документы по обслуживанию и ремонту оборудования регистрируются и кодируются для облегчения обработки их с помощью ЭВМ. Четко должны быть решены следующие вопросы: составление плана ППР и его оптимизация,

выбор даты остановки на ремонт технологических цехов и установок, расчет потребности в материалах и запасных частях, нормирование ремонтных работ.

Чтобы ЭВМ могла перерабатывать весь комплекс поступающей информации и выдавать управляющие решения, для каждой задачи разрабатывается алгоритм (математическое описание) последовательности ее решения и затем составляется программа решения. Работа по созданию алгоритмов и программ осуществляется в несколько последовательных этапов. Важным этапом является постановка задачи. Должны быть четко сформулированы сущность задачи и основные принципы ее решения, периодичность решения, схема увязки данной задачи с другими, график решения и выдачи результатов. Необходимо дать характеристики входной и выходной информации, формы входных и выходных документов, их шифры, периодичность, количество экземпляров и т. д.

Следующим ответственным этапом является алгоритмизация задач. Алгоритм характеризуется словесной и математической формами. В первой раскрывается определенная последовательность действий, во второй показаны количественные соотношения, выраженные в виде формул. Математическое обеспечение автоматизированной подсистемы управления обслуживанием и ремонтом оборудования требует глубокого изучения и специального рассмотрения. Основные составные части математического обеспечения: система программирования; библиотека стандартных программ по обработке данных на ЭВМ; система ведения нормативной справочной информации; алгоритмы решения задач АПУОРО.

При разработке АСУП, учитывающей деятельность основных служб предприятия, используется ограниченное число показателей. Для ремонтных же служб используется большее число показателей, что затрудняет разработку подсистем АСУП. К этим показателям относятся планирование ремонтных работ, производство запчастей, учет оборудования и показателей его надежности, материальное обеспечение ремонтов, трудовое обеспечение, управление деятельностью РМЦ, работа с подрядными организациями.

Автоматизированная подсистема управления ремонтом включает комплекс взаимосвязанных задач, количество которых достигает нескольких десятков.

Основными объектами управления в ремонтной службе являются: графики ремонтных работ (ОУ — «время»); объем ремонтных работ в стоимостном выражении (ОУ — «стоимость»); изготовление, получение, складирование и выдача запчастей, материалов, оборудования (ОУ — «материалы»); деятельность производственных подразделений ремонтной службы (ОУ — «производство»); персонал ремонтной службы (ОУ — «трудовые ресурсы»). Каждый объект управления может включать несколько подсистем управления. Управление любым из этих объектов связано с управлением другими объектами большим числом связей. Это определяет сложность структуры АСУ ремонтным хозяйством.

Программа «Расчет потребности в запчастях для определенной группы оборудования» в качестве справочной базы включает полный перечень деталей с указанием видов их ремонта, материалов, специальностей ремонтников и видов применяемого оборудования.

Программа «Учет движения запчастей на складах ОГМ» позволяет решать следующие вопросы: учет поступления запчастей от поставщиков; учет выдачи запчастей потребителям; учет наличия запчастей на складах.

К числу инженерных программ относится программа «Учет отказов оборудования». Для нее собирается следующая информация: состояние на каждый день (работа, ремонт, резерв); дата начала и окончания простоя (планового и непланового); трудовые и стоимостные затраты на ремонт. Входящая информация содержится в двух документах: «карточке отказа», заполняемой при остановке аппарата, и «карточке устранения отказа», заполняемой по устранении отказа. В последней закодированы в древовидной структуре сборочные единицы и детали аппарата и их неисправности. Для указания конкретной неисправности достаточно только подчеркнуть соответствующий шифр.

#### 1.4. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Оптимизация ремонтных работ означает такую организацию ремонта в системе ППР, при которой для выполнения этих работ на предприятии требуются минимальные затраты средств. Оптимизации может подвергаться любой параметр — структура межремонтного цикла, график ППР, сетевой график ремонта.

Критерием оптимизации является экономический показатель — затраты средств. Однако в ряде случаев за критерий оптимизации могут быть приняты простой оборудования в ремонте или трудозатраты. При оптимальном значении параметра критерий оптимизации принимает минимальное (или максимальное) значение.

Оптимальная структура межремонтного цикла строится с учетом ресурса деталей и сборочных единиц. Для этого детали с близкими ресурсами объединяются в группы. Например, с учетом календарного времени возможны следующие сроки службы деталей и сборочных единиц: 720; 2160; 4320; 8640 ч и т. д. Такое деление деталей по срокам службы приводит к обоснованному межремонтному циклу с оптимальной структурой.

Кратность сроков службы деталей повышает ремонтпригодность оборудования, позволяет осуществлять групповую замену деталей при ремонте и уменьшает простой в ремонте.

Структура ремонтного цикла является оптимальной, когда обеспечивается наиболее низкая себестоимость единицы продук-

ции за полный срок службы машины. Таким образом, при построении оптимального цикла некоторые детали могут заменяться раньше по сравнению с их допустимой наработкой, что окупается за счет уменьшения простоев оборудования в ремонте.

Оптимальное использование трудовых ресурсов достигается при оптимизации сетевых графиков ремонта. Сетевые графики дают возможность осуществить оптимизацию по любому параметру — продолжительности ремонта или его стоимости.

Рассмотрим порядок составления оптимального графика ППР химического предприятия.

Основная сложность при составлении оптимального плана ППР химического предприятия состоит в том, что технологические установки обычно объединены в линии, поэтому необходимо учитывать связь между остановками на ремонт различных технологических установок. Таким образом, оптимальный план ППР строится для всего предприятия в целом при известных ремонтных циклах, длительностях ремонта и известных трудозатратах на ремонт для каждой установки. С учетом проблемы трудовых ресурсов прием за критерий оптимизации минимум количества ремонтных рабочих, необходимых для осуществления плана ППР при условии выполнения заводом производственной программы.

Оптимизация графика ППР проводится в основном по двум направлениям:

1. С целью обеспечения максимального выпуска продукции. Таким образом, целевой функцией является максимум прибыли, при этом затраты на ремонт считаются условно-постоянными. Однако при составлении графика ППР обязательно должны учитываться интересы ремонтной службы (ограничения по численности и специальностям ремонтников, равномерность их загрузки).

2. С целью минимальных отклонений трудозатрат от среднего (оптимального) значения.

Расчетные модели первого направления слабо учитывают требования ремонтных служб, а модели второго направления не учитывают технологию производства.

В качестве целевой функции может использоваться также минимум суммарных простоев оборудования в ремонте и техническом обслуживании, проводимом с остановкой оборудования. Практически эта функция соответствует функции максимальной прибыли.

Следующим этапом является оптимизация производственной программы совместно с графиком ППР. Цель задачи — расчет производственной мощности предприятия с одновременным расчетом графика ППР, лимитирующего выпуск продукции.

Оптимальный график ППР целесообразно составлять не на год, как это делается в настоящее время при составлении плана ППР, а на более длительный срок, в течение которого каждая

Таблица 1.3

Номер установки	Номер установки				
	1	2	3	4	5
1	-1	0	0	0	-1 (0)
2	0	-1	0	0	0
3	0	0	-1	+1	0
4	0	0	+1	-1	0
5	-1 (0)	0	0	0	-1

установка хотя бы один раз проходит ремонтный цикл. Например, если имеются установки с ремонтным циклом в 1,0; 1,5; 2,0 года, оптимальный график целесообразно составить на 6 лет, поскольку за этот срок установки пройдут целое число ремонтных циклов.

При составлении плана на один год в последующие годы возможно совпадение ремонта некоторых установок, что создаст потребность в кратковременном увеличении количества ремонтных рабочих или необходимость неоправданно длительного простоя установок в ремонте. Этому способствует также проведение ремонта некоторых установок в летний период времени.

Связь между отдельными установками может быть следующая: 1) последовательная, при которой остановка одного аппарата или одной машины требует остановки других; 2) параллельная, при которой не допускается одновременная остановка всех установок; 3) автономная, при которой установки работают независимо и их остановки не связаны.

Связь установок учитывается корреляционной матрицей. Первый вид связи обозначается  $(-1)$ , второй  $(+1)$ , третий  $(0)$ . В табл. 1.3 дана корреляционная матрица, составленная для пяти установок. Недопустимость одновременной остановки третьей и четвертой установок обозначена в матрице знаком  $(+1)$ . Обозначения располагаются симметрично относительно главной диагонали. Первая и пятая установки работают последовательно и останавливаются на ремонт одновременно. В матрице их связь обозначена знаком  $(-1)$ . Для случая автономной работы первой и пятой установок в матрице нужно использовать обозначение  $(0)$ .

Расчет графика ППР ведется в указанной ниже последовательности.

1. Задаются сроками начала ремонта отдельных установок, распределяя их по возможности равномерно для выбранного отрезка времени. При этом за начало считают первый день ремонта установки.

2. Для установок первого или второго типа связи задаются сдвигом ремонта по сроку:

$$t_1 = t_2 - t_0 \quad (1.1)$$

где  $t_1$  — срок ремонта  $i$ -й установки;  $t_2$  — срок ремонта  $(i + 1)$ -й установки;  $t_0$  — сдвиг срока ремонта  $i$ -й установки по сравнению со сроком ремонта  $(i + 1)$ -й установки.

В случае установок первого типа связи значение  $t_0 = 0$ . Для установок второго типа связи значение  $t_0$  подбирается так, чтобы сроки ремонтов обеих установок не совпадали в течение всего планируемого отрезка времени. Этот подбор наиболее прост, когда межремонтный пробег установок одинаков.

3. По принятым срокам начала ремонта и известной ремонтосложности каждой установки рассчитывают количество ремонтных рабочих, необходимых на каждый день в течение всего планируемого срока:

$$n = \sum_{i=1}^N n_i \quad (1.2)$$

где  $n_i$  — количество ремонтных рабочих, занятых ремонтом  $i$ -й установки;  $N$  — число установок;  $n$  — общее количество ремонтных рабочих по всем установкам.

Необходимое количество ремонтных рабочих может рассчитываться отдельно по каждой категории работ (ремонт наружных установок, насосно-компрессорного оборудования и т. д.) или по различным специальностям (слесарь, токарь, крановщик и т. д.).

4. Определяют день, когда требуется максимальное количество ремонтных рабочих. Это количество должно быть принято за минимально необходимое для осуществления всей программы ремонта и как критерий оптимальности является искомой величиной. Расчеты проводят с помощью ЭВМ. Сначала все зависимости выражаются в виде формул типа (1.1) и (1.2), что позволяет получить простейшую математическую модель графика ППР.

Предварительно принятая расстановка сроков ремонта отдельных установок при расчете непрерывно изменяется с помощью вариационной программы; находится такая расстановка сроков, при которой ремонты обеспечиваются минимальным количеством ремонтных рабочих.

В результате получают оптимальный график ППР с расчетом необходимого количества ремонтных рабочих на каждый день. При значительном колебании количества ремонтных рабочих (например, более  $\pm 20\%$ ) осуществляется корректировка длительности простоя в ремонте каждой установки, условий постоянного количества ремонтных рабочих, и расчеты повторяют. В пределе получают оптимальный план расстановки сроков ремонта, соответствующий выбранному критерию оптимальности.

При оптимизации графика ППР оборудования с циклическим режимом работы необходимо обеспечить: 1) планирование сроков ремонта каждой единицы оборудования таким образом, чтобы отклонения месячной трудоемкости ремонта от среднемесячной были минимальными; 2) минимальную сумму отклонений месячных затрат на капитальный ремонт по предприятию в целом от среднемесячной; 3) ограничение числа единиц оборудования одной модели, подлежащих капитальному ремонту в одном месяце; 4) постоянный интервал между ремонтами отдельных видов оборудования.

При решении этой задачи на первом этапе оптимизируется график капитальных ремонтов, т. е. обеспечивается выполнение требований 2, 3, 4. На втором этапе оптимизируется график текущих ремонтов, т. е. обеспечивается выполнение требований 1 и 4.

## НАДЕЖНОСТЬ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

### 2.1. ИЗНОС ОБОРУДОВАНИЯ

**Механический износ.** Износ элементов машин (аппаратов) происходит под воздействием механических, тепловых и химических факторов. Механический износ проявляется в пластической деформации поверхности, изменении свойств материала в поверхностном слое детали и т. д. Большое влияние на такой износ оказывают силы трения, возникающие при взаимном перемещении сопряженных деталей. Вид износа, обусловленный силами трения, считается основным.

Механический износ деталей машин (аппаратов) — неизбежный естественный процесс. Задача правильной (нормальной) эксплуатации машины заключается в обеспечении условий, уменьшающих скорость износа. При нарушении нормальных условий эксплуатации машины скорость износа возрастает и наступает аварийный режим.

Помимо механического износа имеет место старение материалов, которое проявляется в самопроизвольном изменении строения и свойств материалов (естественное старение). При старении происходят диффузионное перемещение атомов в металле (т. е. изменяется кристаллическая структура металла), распад структур, полученных при термообработке, и превращения, сопровождающиеся изменением химического состава. Таким образом, старение — это сложный процесс, состоящий из нескольких параллельно протекающих процессов. Для описания старения во времени используется экспоненциальное уравнение:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \exp(-K\tau e^{-u/E})$$

где  $\sigma$ ,  $\sigma_0$  — текущая и начальная прочность материала;  $\tau$  — время;  $K$  — константа;  $E$ ,  $u$  — энергия активации и энергия процесса старения, соответственно.

Старение полимеров протекает с большей скоростью, чем старение металлов, и описывается уравнением реакции первого порядка:

$$\frac{dc}{d\tau} = -kc = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)c$$

где  $c$  — концентрация макромолекул, не затронутых разрушением (деструкцией);  $k$  — константа скорости реакции;  $k_0$  — предэкспо-

ннциальный множитель;  $T$  — температура,  $K$ ;  $R$  — газовая постоянная.

Результат износа проявляется в изменении размеров или формы детали, нарушении ее целостности, появлении задиrow, царапин, трещин. Косвенными признаками износа являются снижение показателей работы машины (например, напора и производительности насоса или компрессора), появление вибраций, заклиниваний и т. д.

Износ зависит от следующих факторов: 1) качества металла трущихся поверхностей; 2) чистоты обработки трущихся поверхностей; 3) наличия и качества смазки деталей трущихся пар.

Качество материала деталей оказывает большое влияние на работу трущейся пары, в частности на износостойкость пары трения. От качества материалов зависит интенсивность и характер пластических деформаций, усталостные явления, изменения в металле под действием теплоты трения и т. д. На износ оказывает также влияние обработка поверхности (например, закалка, цементация, азотирование). Для уменьшения износа применяются специальные антифрикционные чугуны, баббиты, бронзы и другие материалы.

В центробежных насосах контактирующие кольца (вращающееся и неподвижное) изготавливаются из стали. Скорость износа пары сталь — сталь высока. Замена одного из колец на чугунное позволяет значительно повысить долговечность колец. Так, пара чугун — сталь 3Х13 работает на истирание в 2—3 раза дольше, чем пара сталь — сталь. Часто необходимую пару подбирают в процессе ремонтных работ.

С увеличением твердости материала износ детали уменьшается, поэтому особое внимание при замене изношенных деталей следует уделять проверке качества закалки, цементации и других методов повышения поверхностной твердости материала.

Износ является процессом случайным, так как зависит от большого количества факторов, некоторые из которых являются случайными. Поэтому аналитическое описание износа выполняется по средним значениям показателей износа. Скорость изнашивания — абсолютный износ детали во времени, выраженный в линейных, массовых или объемных единицах. Линейная скорость изнашивания измеряется в мкм/ч, массовая — в г/ч, объемная — в мм<sup>3</sup>/ч.

Интенсивность изнашивания — это отношение абсолютного износа к пути скольжения (в мкм/км). В безразмерной форме (в м/м) интенсивность изнашивания  $J$  имеет малое численное значение. Для большинства материалов и деталей  $J = 10^{-12} \div 10^{-8}$ . Например, для капрона в диапазоне температур 20—120 °C  $J = 5 \cdot 10^{-8}$ .

Интенсивность линейного изнашивания

$$J_h = h/L$$

(где  $h$  — высота изношенного слоя;  $L$  — длина пути трения) является безразмерной величиной.

Интенсивность массового изнашивания:

$$J_m = M/FL$$

где  $M$  — масса изношенного металла;  $F$  — номинальная поверхность площади трения.

Связь между  $J_h$  и  $J_m$ :

$$J_m = J_h \rho$$

где  $\rho$  — плотность металла.

При повышении температуры уменьшается твердость материала, и для описания зависимости интенсивности изнашивания от температуры используется уравнение

$$J = A \exp(BT)$$

где  $A$ ,  $B$  — постоянные.

Для описания зависимости интенсивности изнашивания от удельной нагрузки (давления)  $P$  обычно применяется степенное уравнение:

$$J = CP^n$$

где  $C$ ,  $n$  — постоянные.

Как показывают лабораторные исследования, скорость скольжения тоже может влиять на величину износа, но для промышленных аппаратов для достаточно широкого диапазона изменения скоростей ее влияние на удельный износ может не учитываться. Однако скорость износа (износ в единицу времени) будет увеличиваться с возрастанием линейной скорости скольжения. Поэтому при интенсификации работы аппаратов за счет увеличения скорости скольжения должно учитываться снижение долговечности узла с движущимися сопряженными деталями.

Чистота обработки поверхностей определяет фактическую поверхность контакта трущихся деталей. В начале работы деталей микронеровности, образованные на поверхности деталей в результате предшествующей механической обработки, разрушаются и возникает новый микрорельеф поверхности, соответствующий вполне определенным условиям взаимного перемещения элементов пары. Поэтому качество обработки деталей в лучшем случае должно давать такой микрорельеф поверхности (форма, размер и направление неровностей), который получается после обкатки. При этом износ деталей в период обкатки будет наименьшим. Качество обработки поверхности оказывает также влияние на антикоррозионную стойкость и усталостную прочность деталей.

Чистота обработки определяет в основном износ в период обкатки. На рис. 2.1 показано изменение шероховатости поверхности деталей во времени при различной начальной чистоте обработки. Как следует из рис. 2.1, шероховатость поверхности стремится к установившемуся значению (на рисунке оно соответствует

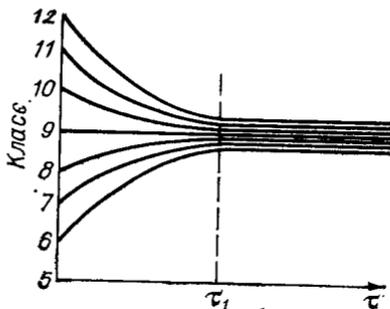


Рис. 2.1. Изменение класса шероховатости во времени.

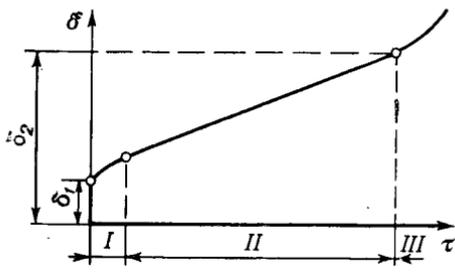


Рис. 2.2. График износа.

девятому классу шероховатости). Время  $\tau_1$  характеризует период приработки, т. е. период, когда наблюдается заметное изменение шероховатости поверхности. При  $\tau > \tau_1$  наблюдается период установившегося износа. В этот период шероховатость поверхности остается примерно постоянной. Подобное изменение шероховатости поверхности характерно для нормальных условий. При условиях повышенной пластической деформации, отсутствии смазки, заеданиях и т. д. шероховатость поверхности резко увеличивается.

При равновесной шероховатости поверхности, соответствующей периоду установившегося износа, коэффициент трения минимален и наблюдается минимальный износ.

Это свидетельствует о том, что имеется оптимальная шероховатость поверхности вала, соответствующая минимальному значению коэффициента трения и минимальному износу обеих деталей пары трения.

Для пластмассовых деталей состояние поверхности трения практически не оказывает влияния на износ и коэффициент трения, поскольку пластмассы быстро прирабатываются к металлической детали пары трения.

Оптимальная шероховатость зависит от свойств материалов, формы деталей, условий работы пары трения и наличия смазки. При изготовлении сменных деталей необходимо стремиться к достижению оптимальной шероховатости, при которой износ и длительность приработки деталей будут минимальными. Однако рекомендации по значениям оптимальной шероховатости для различных пар трения и различных условий работы отсутствуют, и при изготовлении сменных деталей приходится стремиться к классу шероховатости, соответствующему классу машины. Минимальный износ в период приработки обеспечивает минимальную скорость износа и в период нормальной эксплуатации. Именно в этом и проявляется влияние чистоты обработки трущихся поверхностей.

Качество обработки поверхности детали, изготовленной из твердого материала, особенно сильно влияет на износ сопряженной детали из мягкого металла. Например, износ баббитовых вкладышей и втулок из свинцовистой бронзы тем больше, чем ниже качество обработки вала. Это относится не только к периоду приработки, но и ко всему времени работы.

Характер износа деталей во времени представлен на рис. 2.2. Начальное значение зазора в соединении  $\delta_1$  определяется конструкцией соединения. Кривая износа может быть разбита на следующие участки: *I* — период приработки, характеризующийся повышенным износом вследствие быстрого разрушения микронеровностей, полученных при обработке детали; *II* — период нормального износа, характеризующийся постоянной скоростью износа; *III* — период аварийного износа, характеризующийся возрастанием скорости износа.

Зазор  $\delta_2$ , соответствующий переходу от периода нормального износа к периоду аварийного износа, является предельно допустимым. Численные значения предельно допустимых зазоров сочленений приводятся в технических условиях на ремонт машины. В процессе эксплуатации машины (например, центробежного компрессора) обслуживающий персонал контролирует периодически зазоры с помощью щупа. Период нормального износа — самый длительный. В течение этого периода увеличение зазора в сопряжении происходит без заметного снижения работоспособности машины.

Динамические нагрузки, сопровождающиеся ударами, вызывают повышенный износ деталей. Усталость металла, появляющаяся при действии знакопеременных нагрузок, тоже способствует увеличению скорости износа.

Износ детали в конечном счете приводит к ее неработоспособности или отказу. Таким образом, отказом детали является не только ее поломка, но и изменение размеров до некоторого допустимого предела. Долговечность деталей может определяться либо случайными причинами, либо износом. Для расчета долговечности с учетом внезапных отказов, т. е. вызванных случайными причинами, используется экспоненциальный закон. Расчет деталей на долговечность по допустимой величине износа называется расчетом на износ.

Изменение зазора в соединении связано с изменением качества поверхности детали, ее геометрической формы и другими причинами. Поэтому зазор в соединении может быть принят в качестве комплексного параметра, определяющего скорость износа. При этом влиянием условий эксплуатации (качеством смазки, колебаниями температуры и запыленности и т. д.) на скорость износа пренебрегают, считая такое влияние малым или постоянным. В отличие от массового износа, использованного ранее, изменение зазора в соединении будет выражать линейный износ.

Из кривой износа следует, что скорость износа  $d\delta/d\tau$  (тангенс угла наклона касательной к кривой износа) в период приработки уменьшается, в период нормальной эксплуатации остается постоянной, в период аварийного износа увеличивается. В общем виде уравнение износа

$$\frac{d\delta}{d\tau} = f(\delta) \quad (2.1)$$

Простейшая линейная зависимость имеет вид:

$$\frac{d\delta}{d\tau} = A + B\delta$$

где  $A$ ,  $B$  — коэффициенты.

Для периода приработки коэффициент  $B$  имеет отрицательное значение. Для периода нормальной эксплуатации значение  $B$  может быть равно нулю или больше единицы. В период аварийного износа коэффициент  $B$  имеет положительное значение, резко превышающее его значение для периода нормальной эксплуатации.

Процесс износа является статистическим, поэтому уравнение (2.1) может описывать кривую износа по средним значениям зазора или по максимальным его значениям для группы одинаковых деталей. Распределение зазоров по размерам подчиняется нормальному закону.

Предельное значение размера детали или зазора в соединении устанавливается на основании данных об эксплуатации машин или по нормам, которые также являются обобщением опыта эксплуатации. Несмотря на то, что имеются данные по скорости износа различных деталей в реальных условиях, обобщенные показатели износа отсутствуют, поскольку на практике часто достаточно знать срок эксплуатации деталей до предельного значения износа. Влияние условий эксплуатации на скорость износа затрудняет использование уравнения (2.1) для расчета долговечности детали.

Рассмотренные методы описания износа относятся к узлам трения. Для машины в целом описать ее износ трудно, поэтому используются показатели надежности, рассматриваемые далее.

Кривая износа, представленная на рис. 2.2, является характерной для большинства трущихся деталей. При эксплуатации машин износ некоторых деталей можно наблюдать как в период нормального, так и в период аварийного износа. Для некоторых деталей, к числу которых относятся уплотнения, плунжерные пары и т. п., период аварийного износа на практике не достигается, так как потеря эксплуатационных качеств машины, в состав которой входят эти детали, происходит еще в период нормального износа.

Период приработки обычно совпадает с периодом обкатки оборудования, однако для сменных деталей, устанавливаемых на

машину при ремонте, период приработки сохраняется. В целом значительная часть деталей при длительной эксплуатации машины проходит все периоды износа.

Значительные напряжения возникают в тех местах аппаратов, где из-за обилия штуцеров имеется большое число сварных швов. Как правило, остаточные напряжения приводят к появлению выпучин и трещин.

Механический износ проявляется также в пластической деформации деталей, подверженных нагрузкам. Например, валы кроме износа поверхностей трения подвергаются кручению и изгибу. Шпонки и шпоночные пазы подвергаются пластической деформации вследствие перегрузки соединения, некачественной сборки или в результате появления ударных нагрузок на шпоночное соединение. Любое болтовое соединение находится под воздействием статической нагрузки. Величина нагрузки определяется усилием затяга соединения. Переменная температура и переменное давление в аппарате приводят к появлению динамических нагрузок, под воздействием которых возникает усталость металла и удлинение болтов с искажением профиля резьбы. Пластические деформации при тепловом воздействии связаны с ползучестью металла. Для углеродистых сталей ползучесть проявляется при температурах, превышающих 375 °С, для легированных — более 420 °С.

К износу относится также нарушение целостности детали. Нарушение целостности всегда связано с аварийным износом и в ряде случаев приводит к серьезным последствиям. Причины нарушения целостности могут быть следующие: 1) превышение допустимой нагрузки; 2) действие неучтенных концентраторов напряжения; 3) большой разброс механических показателей металла; 4) качество изготовления, особенно качество термомеханических операций, сварочных и сборочных работ; 5) качество обслуживания, т. е. выполнения текущих ремонтных работ; 6) качество смазки.

В химической промышленности наиболее часто нарушение целостности наблюдается у деталей поршневых компрессоров. Нарушения целостности происходят также при ремонте. Известны случаи, когда емкости, установленные на открытых площадках, после пропарки теряли устойчивость и подвергались смятию, так как охлаждение их приводило к значительному снижению остаточного давления.

Механический износ в аппаратах, не имеющих движущихся органов, может происходить за счет эрозии, т. е. за счет динамического воздействия движущейся среды. Например, эрозионному износу подвергается проточная часть водяных насосов. При этом детали из хромоникелевых сталей работают без заметного эрозионного разрушения, а детали из углеродистых сталей и чугуна подвергаются значительному износу. Для деталей водяных насосов характерно повышение эрозионной стойкости при увеличении

механической прочности и коррозионной стойкости материала деталей, так как обычно воздействие жидкости проявляется одновременно с коррозионными факторами.

В трубопроводной арматуре эрозионный износ объясняется ударным воздействием и завихрениями потоков жидкости и пара. Лопастные вентиляторы подвергаются эрозии в результате ударов капелек влаги и твердых частиц, содержащихся в воздухе.

Поверхность аппаратов с газовым обогревом подвергается эрозионному износу твердыми частицами, содержащимися в дымовых газах. Наиболее сильно изнашиваются те места труб, которые соприкасаются с потоком газа, имеющим наиболее высокую линейную скорость.

Большой абразивный износ испытывают детали аппаратов с кипящим слоем катализатора. В таких аппаратах абразивному износу подвергаются секционирующие решетки, встроенные теплообменники и циклоны. Механический износ дополняется воздействием высоких температур (600 °С).

Унос частиц катализатора из контактных аппаратов вызывает эрозию труб теплообменников. При этом начальные участки труб подвергаются наибольшему эрозионному воздействию.

При переменном температурном напоре (чередование циклов нагрева — охлаждения) возможны значительное окалинообразование и ускоренный износ корпуса аппарата, высокие остаточные деформации и образование трещин в сварных швах.

В некоторых случаях целесообразно место интенсивного износа покрывать приварными сменными втулками, планками, дисками, кольцами. Этот прием позволяет повысить долговечность наиболее изнашивающихся деталей. Например, облицовка разгрузочных патрубков бункеров старой транспортной лентой снижает износ и повышает ремонтпригодность бункеров.

Климатические условия как фактор износа проявляются в воздействии солнечной радиации, температуры, влажности. Наибольшее воздействие климатические условия оказывают на износ (старение) деталей машин, изготовленных из полимеров.

**Пример 2.1.** Изменение зазора в сочленении деталей для четырех пар трения представлено в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Номер пары трения	Значение зазора (в мкм) в сочленении деталей при различных значениях $\tau$ (в ч)				
	500	1000	1500	2000	2500
1	40	50	70	100	120
2	50	50	70	110	130
3	50	60	70	110	120
4	70	90	100	120	130
$\delta_{\text{ср}}$ , мкм	52,5	62,5	77,5	110	125

Требуется получить уравнение износа.

**Решение.** Зависимость  $\delta = f(\tau)$ , построенная на рис. 2.3 по средним значениям зазора в сочленении, показывает, что может быть принят линейный закон изменения зазора

$$\delta = \delta_0 + A\tau$$

По рисунку находим  $\delta_0 = 28$  мкм,  $A = \frac{72 \text{ мкм}}{1850 \text{ ч}} = 0,039$  мкм/ч. Закон изменения зазора:

$$\delta = 28 + 0,039\tau$$

Уравнение износа:

$$\frac{d\delta}{d\tau} = 0,039$$

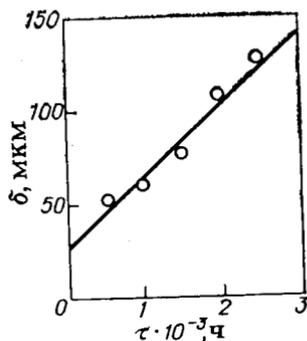


Рис. 2.3. Изменение зазора во времени.

**Пример 2.2.** Максимально допустимый зазор в соединении составляет  $\delta = 200$  мкм. Начальный зазор  $\delta_0 = 10$  мкм. Скорость износа первой детали  $v_1 = 20$  мкм/месяц, скорость износа второй детали  $v_2 = 5$  мкм/месяц. Определить возможный срок службы сборочной единицы, если сменяется только первая деталь при наличии двух запасных деталей.

**Решение.** Продолжительность работы до первой замены:

$$\tau_1 = \frac{\delta - \delta_0}{v_1 + v_2} = \frac{200 - 10}{20 + 5} = 7,6 \text{ месяца}$$

Износ второй детали за этот период:

$$\delta_2 = v_2 \tau_1 = 5 \cdot 7,6 = 38 \text{ мкм}$$

Зазор в сочленении после смены детали:

$$\delta_{10} = \delta_0 + \delta_2 = 10 + 38 = 48 \text{ мкм}$$

Продолжительность работы до второй замены:

$$\tau_2 = \frac{\delta - \delta_{10}}{v_1 + v_2} = \frac{200 - 48}{20 + 5} = 6,04 \text{ месяца}$$

Аналогично,  $\tau_3 = 5$  месяцев. Общий срок службы сборочной единицы:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 18,64 \text{ месяца}$$

**Пример 2.3.** По условиям примера 2.2 рассчитать возможное количество ремонтов при замене одной детали.

**Решение.** Для расчета допустимого количества ремонтов путем замены одной детали необходимо знать ремонтный период. В качестве ремонтного периода с учетом результата, полученного в предыдущем примере, примем  $\tau = 6$  месяцев. Зазор через 6 месяцев работы соединения:

$$\delta_1 = \delta_0 + (v_1 + v_2) \tau = 10 + (20 + 5) 6 = 160 \text{ мкм}$$

Остаточный зазор после первой замены:

$$\delta_{01} = \delta_0 + v_2 \tau = 10 + 5 \cdot 6 = 40 \text{ мкм}$$

Зазор через 12 месяцев работы соединения:

$$\delta_2 = \delta_{01} + (v_1 + v_2) \tau = 40 + (20 + 5) 6 = 190 \text{ мкм}$$

Остаточный зазор после второй замены:

$$\delta_{02} = \delta_{01} + v_2 \tau = 40 + 5 \cdot 6 = 70 \text{ мкм}$$

Зазор через 18 месяцев работы соединения:

$$\delta_3 = \delta_{02} + (v_1 + v_2) \tau = 70 + (20 + 5) 6 = 220 \text{ мкм}$$

что недопустимо.

Так как после второй замены сборочная единица не может проработать 6 месяцев в пределах допустимого зазора, возможна замена детали только один раз. Через 12 месяцев (два ремонтных периода) необходим ремонт более высокой категории с заменой обеих сопрягаемых деталей.

**Пример 2.4.** Определить допустимый зазор сочленения при ремонте  $\delta_0$ , который обеспечил бы продолжительность работы до следующего текущего ремонта (3 месяца). Максимально допустимый эксплуатационный зазор  $\delta = 100$  мкм.

Уравнение износа ( $d\delta/d\tau$  выражено в мкм/ч):

$$\frac{d\delta}{d\tau} = A + B\delta = 0,02 + 10^{-4}\delta$$

**Решение.** Разделяя переменные и интегрируя, получаем:

$$\frac{d\delta}{0,02 + 10^{-4}\delta} = d\tau; \quad \int_{\delta_0}^{\delta} \frac{d(0,02 + 10^{-4}\delta)}{0,02 + 10^{-4}\delta} = \int_0^{\tau} 10^{-4} d\tau$$

$$\ln \frac{0,02 + 10^{-4}\delta}{0,02 + 10^{-4}\delta_0} = 10^{-4}\tau; \quad \ln \frac{0,02 + 10^{-4} \cdot 100}{0,02 + 10^{-4} \cdot \delta_0} = 10^{-4} \cdot 3 \cdot 30 \cdot 24$$

откуда  $\delta_0 = 42$  мкм.

Скорость износа в начале ремонтного периода:

$$\frac{d\delta}{d\tau} = 0,02 + 10^{-4} \cdot 42 = 0,0242 \text{ мкм/ч}$$

Скорость износа в конце ремонтного периода:

$$\frac{d\delta}{d\tau} = 0,02 + 10^{-4} \cdot 100 = 0,03 \text{ мкм/ч}$$

**Пример 2.5.** Для манжетного уплотнения при повышении давления уплотняемой жидкости увеличивается длина поверхности контакта манжеты с валом  $l$  (рис. 2.4), в связи с чем скорость износа поверхности возрастает. График массового износа манжеты из резины на основе нитрильного каучука размерами  $7 \times 80 \times 140$  мм при различных скоростях скольжения  $v$  дан на рис. 2.5. Рассчитать, во сколько раз уменьшается долговечность манжеты при форсиро-

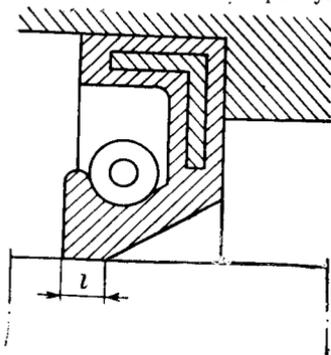


Рис. 2.4. Манжета.

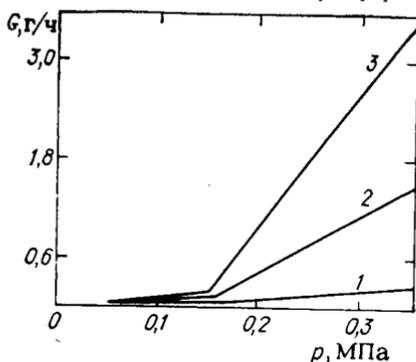


Рис. 2.5. Зависимость массового износа манжеты от давления жидкости: значения  $v$  (в м/с): 1 — 0,28; 2 — 0,50; 3 — 0,67.

ванном режиме работы машины за счет повышения давления среды от 0,2 до 0,3 МПа.

Решение. При расчете примем, что скорость износа обратно пропорциональна долговечности манжеты.

Из рис. 2.5 находим значение скорости износа:

$G_1 = 0,12$	г/ч	при	$v = 0,28$	м/с	$P = 0,2$	МПа
$G_2 = 0,24$	»	»	$v = 0,28$	»	$P = 0,3$	»
$G_3 = 0,45$	»	»	$v = 0,50$	»	$P = 0,2$	»
$G_4 = 1,14$	»	»	$v = 0,50$	»	$P = 0,3$	»
$G_5 = 1,02$	»	»	$v = 0,67$	»	$P = 0,2$	»
$G_6 = 2,67$	»	»	$v = 0,67$	»	$P = 0,3$	»

Увеличение скорости износа:

$$G_2/G_1 = 0,24/0,12 = 2,00 \text{ раза при } v = 0,28 \text{ м/с}$$

$$G_4/G_3 = 1,14/0,45 = 2,53 \text{ » » } v = 0,50 \text{ »}$$

$$G_6/G_5 = 2,67/1,02 = 2,62 \text{ » » } v = 0,67 \text{ »}$$

Таким образом, снижение долговечности зависит от скорости скольжения. При более высоких скоростях скольжения форсированный режим работы в большей степени уменьшает долговечность манжеты.

Наличие смазки значительно снижает механический износ, так как при достаточной толщине смазочного слоя трение деталей одна о другую заменяется трением слоев смазки. Например, для пары сталь—бронза износ при наличии смазки уменьшается примерно в 30 раз по сравнению с износом, имеющим место при отсутствии смазки. Даже кратковременное отсутствие смазки приводит к резкому повышению износа и заеданию деталей. Выделение больших количеств теплоты при трении без смазки приводит к выплавлению баббита из подшипников скольжения и заклиниванию. В зависимости от толщины и характера слоя, образуемого смазкой, возможны следующие виды трения: жидкостное (полное разделение трущихся поверхностей смазкой), полужидкостное (смазка покрывает только часть полной поверхности трущихся деталей), полусухое (большая часть поверхности деталей не имеет смазки и лишь небольшая часть поверхности имеет смазку), сухое (смазка отсутствует полностью), граничное (слой смазки настолько тонок — менее 0,1 мкм, что его свойства не подчиняются законам гидродинамики).

На вид трения оказывают влияние конструкция трущейся пары, удельное давление между ее поверхностями и скорость относительного перемещения. На рис. 2.6 показан характерный переход жидкостного трения в полужидкостное в результате износа трущихся поверхностей. При малой величине суммарного зазора в подшипнике ( $\delta_1 + \delta_2$ ), изображенном на рис. 2.6, а, имеет место жидкостное трение. В результате износа и увеличения зазора  $\delta_3 > \delta_1 + \delta_2$  (рис. 2.6, б) минимальная толщина смазки на линии центров  $\delta_1$  уменьшается, начинается контакт неровностей вала и подшипника и жидкостное трение переходит в полужидкостное, а скорость износа в результате этого начинает увеличиваться. Полужидкостное трение по схеме, аналогичной представленной на рис. 2.6, б, имеет место также в периоды пуска и остановки

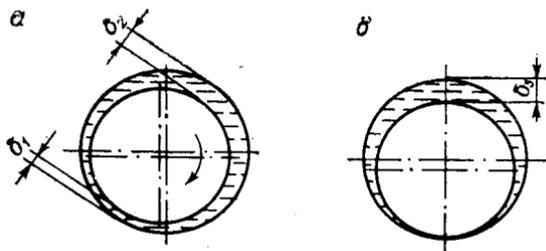


Рис. 2.6. Положение вала в подшипнике:

а — при жидкостном трении; б — при полужидкостном трении.

машины. Например, в момент пуска коэффициент трения  $f_0 = 0,2 \div 0,25$ , а при жидкостном трении  $f = 0,01 \div 0,001$ . Даже при установившемся режиме сухого трения коэффициент трения ниже, чем в момент пуска, и равен  $f = 0,15 \div 0,20$ .

На вид трения оказывает влияние действующая на вал весовая нагрузка. В целом минимальный зазор  $\delta_1$  увеличивается при возрастании частоты вращения, диаметра вала, вязкости масла и уменьшается с ростом весовой нагрузки и суммарного зазора ( $\delta_1 + \delta_2$ ). Так как вязкость масла с повышением температуры уменьшается, для многих машин и аппаратов химической промышленности, работающих при переменной температуре, температурный режим оказывает отрицательное влияние на работу узлов трения. При слишком малой величине зазора возможно образование задиров и повышение температуры узла из-за перехода жидкостного трения в полусухое или граничное. При слишком большой величине зазора возможно появление ударных нагрузок, резко повышающих износ.

В подшипниках качения также имеет место трение и износ всех элементов подшипника — шариков, сепараторов, наружного и внутреннего колец подшипника.

Смазка уменьшает коэффициент трения соприкасающихся деталей, заменяя трение рабочих поверхностей трением слоев смазки и тем самым уменьшая износ трущихся деталей. Поэтому назначение смазки заключается в сохранении работоспособности и точности оборудования, увеличении его долговечности.

Основная характеристика смазочного материала — вязкость. В большинстве случаев сырьем для синтеза смазок служат продукты перегонки нефти. В зависимости от вязкости смазки могут быть жидкими (текучими), консистентными (густые пластичные смазки) и твердыми (в качестве твердой смазки используется графит).

Поскольку оборудование может эксплуатироваться в широком диапазоне температур, дополнительными характеристиками смазки являются температуры замерзания и вспышки. Температура замерзания масла характеризует потерю подвижности масла. При этой температуре износ трущихся деталей возрастает. Тем-

пература вспышки — это температура, при которой пары масла образуют с окружающим воздухом смесь, воспламеняющуюся при поднесении к ней пламени.

Основные виды жидких масел, используемые в качестве смазок: индустриальные, автотракторные, авиационные, трансмиссионные, турбинные, компрессорные, приборные масла и масла специального назначения (трансформаторное, гидротормозное и т. д.).

Консистентные смазки получают путем загущения жидких масел. Для загущения используют мыла и синтетические жиры, а также твердые углеводороды — парафин, петролатум, церезин. К консистентным относятся следующие основные группы смазок: универсальные низкоплавкие, среднетплавкие, тугоплавкие, индустриальные смазки и смазки специального назначения (бензопорная, клейкая, морская).

Для улучшения эксплуатационных качеств смазок к маслам примешивают специальные добавки — присадки. Присадки служат для улучшения вязкостных, антиокислительных, антикоррозионных, антипенных и моющих свойств смазок.

Смазка оборудования осуществляется в соответствии с заводскими инструкциями. Составляется карта смазки. Карта смазки — это схематический чертеж машины с позициями смазываемых узлов, для которых указывается способ и периодичность смазки. Смазка проводится в основном в период межремонтного обслуживания как основными рабочими, так и дежурным персоналом ремонтной службы. Графики смазки и замены масла, инструкции и карты смазки должны находиться у дежурного персонала на рабочем месте. Смазочный инвентарь (масленки, воронки, фильтры, шприцы, емкости, отстойники, обтирочный материал) должен содержаться в чистоте. При рациональной организации смазочного хозяйства номенклатура смазочных материалов доводится до минимума — уменьшается количество емкостей и приспособлений для смазки. Смазка узлов оборудования может быть как индивидуальной, так и централизованной. При индивидуальной смазке каждый узел имеет собственную систему смазки. Индивидуальная смазка осуществляется периодически или непрерывно с помощью наливных масленок, пресс-масленок, масляных ванн, смазочных колец, а также с использованием систем циркуляционной смазки.

При централизованной смазке смазочный материал подается одновременно к нескольким узлам. Кроме того, применяется закладной способ смазки — консистентная смазка закладывается в узел трения только в период его сборки.

Наиболее совершенной является циркуляционная система смазки, обеспечивающая непрерывный подвод масла под давлением к поверхностям трения. При циркуляционной смазке масло не только служит для уменьшения сил трения, но и предохраняет детали от коррозии, обеспечивает отвод теплоты и продуктов износа трущихся поверхностей, уменьшает шум. Такая система

требует использования насоса или лубризатора, маслопроводов, фильтра, контрольно-измерительных приборов, масляного бака.

Основными элементами, для которых необходима смазка в машинах и аппаратах, являются подшипники скольжения и качения, зубчатые, цепные, червячные и винтовые передачи, сальники, пары трения с возвратно-поступательным движением.

В подшипниках скольжения для подвода смазки к поверхностям трения на одной из сопрягаемых деталей имеются продольные и кольцевые канавки. Края смазочных канавок сглаживаются и округляются для того, чтобы их кромки не снимали прилипший к валу смазочный слой. У горизонтальных валов нижняя часть поверхностей трения наиболее нагружена, поэтому располагать в этой части продольные канавки и отверстия для подвода смазки не рекомендуется.

Смазка подшипников скольжения может осуществляться несколькими способами. Наиболее часто смазку проводят с помощью кольца, частично погруженного в масляную ванну и свободно висящего на валу. При этом способе уход за подшипником состоит в периодической проверке уровня масла в корпусе подшипника и смене его через 3—4 месяца.

Для тяжелонагруженных подшипников скольжения применяется циркуляционная смазка под давлением 0,3—0,4 МПа. Ручная смазка используется в неотвественных подшипниках с большими перерывами в работе, когда использование циркуляционной смазки нецелесообразно.

Консистентными смазками наполняются подшипники тихоходных валов в труднодоступных местах.

Смазка подшипников качения проводится следующими способами: 1) в масляной ванне, когда масло заливается непосредственно в корпус подшипника (уровень масла должен находиться на уровне оси нижнего шарика или ролика); 2) распылением при подаче масла из капельной масленки на вращающийся вал; 3) заполнением свободного пространства подшипникового узла консистентной смазкой (производится через 3 месяца).

Наибольшая долговечность подшипников качения обеспечивается при смазке диспергированием масла.

Смазка закрытых зубчатых и червячных передач осуществляется погружением наибольшего колеса в масляную ванну. Глубина погружения должна быть не менее высоты зуба колеса. Смазка зубчатой пары возможна с помощью вспомогательного зубчатого колеса, погруженного в слой масла и передающего масло при контакте колес. Для закрытой зубчатой передачи используется также циркуляционная смазка при подводе масла маслопроводом к месту зацепления колес. Смазка открытых зубчатых передач осуществляется вручную консистентными смазками.

Для работы без смазки в узлах трения используются следующие материалы:

	$P$ , МПа	$v$ , м/с	$Pv$	$t$ , °С
Графит . . . . .	2,5—3,5	1,5	1,0	100—120
Капрон . . . . .	3,0	0,2	0,1—0,15	75
Углерафит . . . . .	1,4	1,0	0,5	500
Фторопласт . . . . .	0,7—1,0	0,5	0,04	260

Здесь представлены значения предельно допустимого давления  $P$  и предельно допустимой скорости скольжения  $v$ . Произведение  $Pv$  определяет возможное увеличение температуры вследствие трения, т. е. долговечность работы подшипника.

Вид смазки для каждой машины указывается заводом-изготовителем для нормальных условий эксплуатации. Однако при изменении условий работы машины (другие скорости, нагрузки, температура, влажность воздуха, наличие паров или агрессивных газов) приходится заново подбирать вид смазки.

Прочность масляного слоя определяется вязкостью масла, поэтому подбор смазки осуществляется в основном по вязкости. Чем выше удельное давление в паре трения, тем более вязким должно быть масло. При малой вязкости будет происходить выжимание масла из зазора и разрыв смазочного слоя. Чем больше рабочая температура, тем выше должна быть вязкость масла. Объясняется это тем, что с повышением температуры вязкость падает. Чем больше скорость относительного перемещения поверхностей, тем меньше должна быть вязкость.

Конструкции узла трения и условия эксплуатации также оказывают влияние на выбор вида смазки. Для вертикальных и наклонных поверхностей трения во избежание вытекания предпочтительны не масла, а консистентные смазки.

В период приработки необходимо использовать масло, имеющее повышенную вязкость. Увеличение зазора в результате износа вызывает вибрацию и разрушение сплошного масляного слоя, поэтому при повышении износа нужно также использовать масла повышенной вязкости. Масло требуемой вязкости обычно получают путем смешения в определенных пропорциях двух масел с различной вязкостью.

Смазочное хозяйство находится в подчинении главного механика завода. Непосредственно в цехах смазку оборудования осуществляют станочники, аппаратчики, слесари по обслуживанию и ремонту оборудования или специально выделенные смазчики.

**Коррозионный износ.** Коррозией называется процесс разрушения металлов при химическом или электрохимическом взаимодействии их с окружающей средой. Металлы разрушаются при взаимодействии с жидкими и газообразными продуктами, а также в результате окислительно-восстановительных процессов взаимодействия с окружающей атмосферой.

Для аппаратов химической промышленности коррозионный износ является наиболее частой причиной выхода их из строя.

Это хорошо видно по статистическим данным отказов аппаратуры, которые будут приведены ниже (см. также раздел 2.2).

По характеру разрушений коррозия может быть сплошной (по всей поверхности металла) и местной (в виде отдельных язвин, пятен, сквозных отверстий, трещин). При сплошной коррозии долговечность аппарата определяется припуском на коррозию; при местной коррозии долговечность аппарата может быть определена только с помощью методов теории надежности.

В химической промышленности отказы аппаратуры распределяются по видам коррозии следующим образом: 1) коррозионное растрескивание — 35%; 2) дырочная коррозия — 20%; 3) общая (равномерная) коррозия — 18%; 4) межкристаллитная коррозия — 16%; 5) другие виды коррозии — 11%.

Таким образом, наиболее частая причина отказа — коррозионное растрескивание. Оно является следствием двух одновременно действующих факторов — агрессивности среды и остаточных напряжений в металле. При этом коррозионное растрескивание наблюдается только при растягивающих напряжениях. Аналогичное влияние агрессивная среда оказывает и на усталость металла. При одновременном воздействии знакопеременных напряжений и агрессивной среды появляется коррозионная усталость металла.

Коррозионное растрескивание наблюдается преимущественно в сварных соединениях, изогнутых трубах и листах, на участках развальцовки труб, т. е. в тех местах, где имеются остаточные напряжения. При изготовлении и ремонте аппаратов все виды обработки, вызывающие рост кристаллических зерен, увеличивают склонность стали к коррозионному растрескиванию, так как крупнозернистые стали более подвержены коррозионному растрескиванию, чем мелкозернистые. Повысить стойкость аппаратуры из углеродистой стали к коррозионному растрескиванию удается отжигом при 650 °С. Повышение коррозионной стойкости нержавеющей сталей достигается отпуском при 650—800 °С, а в ряде случаев при более высокой температуре (800—1150 °С). Для крупных аппаратов возможен местный отпуск при использовании индукционного обогрева.

Коррозионное растрескивание возникает внезапно без предшествующих изменений структуры и свойств металла. Поэтому коррозионные трещины обычно обнаруживаются после того, как они разовьются насквозь. Появление сквозной трещины вызывает необходимость внеплановой остановки оборудования для устранения дефекта. Наряду с глубокой основной трещиной развивается сетка расположенных рядом микротрещин. Попытка заварить сквозную трещину приводит к раскрытию соседних микротрещин. Поэтому успешный ремонт оборудования при коррозионном растрескивании возможен только путем полного удаления всего дефектного участка.

Дырочная коррозия характеризуется образованием сквозных отверстий в металле. Наиболее опасна такая коррозия для аппа-

ратов высокого давления, корпуса которых изготовлены из углеродистой стали, а внутренний облицовочный слой небольшой толщины — из коррозионностойкого металла. Для своевременного обнаружения дырочной коррозии, а также других видов коррозионного разрушения облицовочного слоя в корпусе аппарата предусматривают специальные сигнальные отверстия. Появление продукта в сигнальном отверстии свидетельствует о разрушении облицовочного слоя.

Межкристаллитная коррозия распространяется по границам кристаллов или зерен. Этот вид коррозии опасен тем, что продукты коррозии остаются внутри металла, внешний вид которого не изменяется, а прочностные свойства резко ухудшаются. Склонность хромоникелевых сталей к межкристаллитной коррозии проявляется, например, во время их сварки. Один из методов борьбы в данном случае заключается в нагреве стали до 1080—1150 °С с последующей закалкой водой.

Атмосферной коррозии подвергаются металлоконструкции. Методами борьбы с атмосферной коррозией являются окраска и антикоррозионная металлизация. Срок службы лакокрасочных покрытий составляет 3—4 года, покрытий из напыленного металла — 8—10 лет. Для напыления используются в основном цинк и алюминий, которые имеют относительно низкую температуру плавления. Толщина напыленного слоя обычно равна 50—500 мкм. Напыленный слой дополнительно окрашивается.

Для уменьшения коррозии используются технологические методы снижения агрессивных свойств среды. Например, агрессивные свойства продуктов при переработке нефти объясняются присутствием солей, хлористого водорода, сероводорода. Поэтому снижение агрессивных свойств перерабатываемой нефти достигается ее обессоливанием, подачей содовощелочного раствора, введением ингибиторов коррозии. Эти методы эффективны в том случае, когда концентрация агрессивного агента, например хлористого водорода, невысока; подача небольших количеств содовощелочного раствора приводит к химическому взаимодействию щелочи и кислоты с образованием неагрессивных солей и, таким образом, к устранению хлористоводородной коррозии.

Ингибиторы коррозии образуют на поверхности тончайшие пленки или нерастворимые осадки, которые препятствуют электрохимическому взаимодействию металла и среды. Например, для водных растворов NaCl и CaCl<sub>2</sub>, используемых как холодильные рассолы, в качестве ингибитора применяется хромат калия концентрацией 0,1—0,3%. Применение ингибиторов позволяет уменьшить скорость коррозии стали в несколько раз и оказывается особенно целесообразным для замкнутых систем циркуляции продукта; в этом случае добавка ингибитора может осуществляться периодически.

Электрохимические методы защиты заключаются в присоединении металлоконструкции к положительному (анодная защита)

или отрицательному (катодная защита) полюсу источника тока. Катодная защита более универсальна, чем анодная, но и она практически не применяется в химической промышленности. Катодная защита может быть осуществлена не только присоединением аппарата или трубопровода к постороннему источнику тока, но и путем контакта их с металлом, имеющим отрицательный потенциал по отношению к металлу защищаемого аппарата или трубопровода. Этот метод называется протекторной защитой. Протектор изготавливается в виде пластин толщиной 10—15 мм, соединенных болтами с корпусом аппарата. Площадь протектора составляет 3—5% от поверхности аппарата. В качестве протекторов для стальных аппаратов используются цинковые пластины.

Протектор является анодом и подвергается интенсивной коррозии, тем самым уменьшая разрушения корпуса аппарата в результате анодных процессов. Аналогичные процессы происходят при катодной защите, когда корпус аппарата присоединяется к отрицательному полюсу источника постоянного тока, а в раствор, содержащийся в аппарате, погружается никелевый стержень, выполняющий роль анода. Для химических аппаратов протекторная защита более удобна в эксплуатации, чем катодная.

Кислородная коррозия особенно существенна для аппаратов, охлаждаемых водой, и трубопроводов для свежей воды, в которой всегда содержится растворенный кислород. Значительного уменьшения кислородной коррозии удастся достигнуть при использовании циркулирующей воды без подпитки свежей. При необходимости подпитки в свежую воду предварительно добавляется сульфит натрия, который связывает кислород.

В наибольшей степени коррозии подвержены: 1) места с высокой линейной скоростью среды (например, у входного и выходного штуцеров при большой скорости среды происходит разрушение защитных пленок металла); 2) участки с остаточными напряжениями, в которых имеет место коррозионное растрескивание (чаще всего это сварные швы, а также штампованные или точеные детали, с которых не снято напряжение); 3) застойные зоны, в которых может скапливаться жидкость (поэтому в аппаратах необходимо предусматривать сливные отверстия); 4) зоны нагрева (при повышении температуры скорость коррозии резко увеличивается); 5) узлы трения (механический износ при воздействии агрессивной среды усиливается, изменяются также свойства смазки).

## 2.2. НАДЕЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

**Надежность оборудования.** Любой аппарат после изготовления или ремонта должен отработать определенное время. Несовершенный аппарат выходит из строя раньше времени из-за недоста-

точной надежности его элементов и преждевременного их износа. Необходимость и частота ремонтов определяются надежностью машины или аппарата. Надежность — свойство изделия выполнять свои функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Свойство это является не только качественным. Оно может быть выражено количественно в виде различных показателей. Допустимыми пределами эксплуатационных показателей могут быть определенные отклонения от номинального размера изделия, заданной производительности, мощности и т. д.

При разработке оборудования для обеспечения надежности машины необходимо обеспечить надежность каждой ее детали. Для серийного оборудования обязательны отработка, создание и испытание опытных образцов. Поскольку на надежность деталей оказывают влияние условия эксплуатации, повышение надежности требует получения информации от предприятий, эксплуатирующих оборудование, и анализа причин выхода из строя оборудования. Кроме того, для определения надежности используются специальные ускоренные испытания на стендах.

Разработка аппарата, обеспечивающего поддержание рабочих параметров на оптимальном уровне, еще не приводит к его высокой надежности. Необходима специальная оценка надежности. Слово «оценка» означает, что точную количественную меру надежности предсказать нельзя, но ее можно оценить как наиболее вероятную величину. При этом для группы аппаратов вероятность безотказной работы может рассматриваться как вероятность безотказной работы той части аппаратов, которая численно равна значению вероятности, а для одного аппарата — как вероятность его безотказной работы за некоторый промежуток времени.

Надежность оборудования закладывается на стадиях его проектирования, изготовления и эксплуатации.

Основные проблемы обеспечения надежности могут быть сформулированы следующим образом.

1. На стадии проектирования — обеспечение равнопрочности всех деталей машины или аппарата, выявление наиболее быстро изнашивающихся узлов и деталей, исключение мест концентрации напряжений, обеспечение ремонтпригодности машины, разработка предохранительных устройств.

2. На стадии изготовления — использование эффективных средств упрочнения поверхностных слоев трущихся пар, соблюдение точности и чистоты обработки деталей, усовершенствование методов контроля изготовления и сборки, повышение требований к сварке и испытанию машины, высококачественное выполнение обкатки оборудования.

3. На стадии эксплуатации — выполнение рекомендаций по смазке, техосмотрам, соблюдение сроков ремонтов, температурных режимов и т. д.

Требование надежности оказывает влияние на конструкцию машины. При уменьшении числа конструктивных элементов надежность машины увеличивается. В машине сложной конструкции не удастся добиться равнопрочности всех деталей.

Анализ надежности при проектировании возможен по оценке надежности типовых деталей аппаратуры, применяемых в аналогичных конструкциях. Такими типовыми деталями и узлами могут быть вал, шестерня, подшипник качения или скольжения, сальник, вентиль, муфта и т. д. Сведения, накопленные по отказам этих типовых узлов, должны содержать не только перечень отказов, но и данные об их причинах с указанием состояния окружающей среды, при котором отказы имели место.

В конечном счете надежность является экономическим параметром. При повышении затрат на изготовление машины с целью повышения ее надежности уменьшаются затраты на ремонт в течение всего срока службы машины. Суммарные затраты имеют некоторое минимальное значение, соответствующее оптимальной надежности. Поэтому необходимо добиваться не просто надежности, а именно оптимальной надежности. Основные определения надежности регламентируются ГОСТ 13377—75.

Работоспособность — состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Неработоспособность — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного из заданных параметров, характеризующего способность выполнять определенные функции, не соответствует требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого промежутка времени или некоторой наработки.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Предельное состояние — это состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустраняемого нарушения требований безопасности, выхода заданных параметров за установленные пределы, снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой или, наконец, необходимости проведения текущего либо капитального ремонта.

Наработка — продолжительность или объем работы объекта.

Технический ресурс — наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Гамма-процентный ресурс — это наработка, в течение которой оборудование не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$  процентов.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Надежность — свойство объекта выполнять требуемые функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих определенным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Ремонтируемый объект — это объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа или повреждения подлежит восстановлению.

Неремонтируемый объект — это объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа или повреждения не подлежит восстановлению.

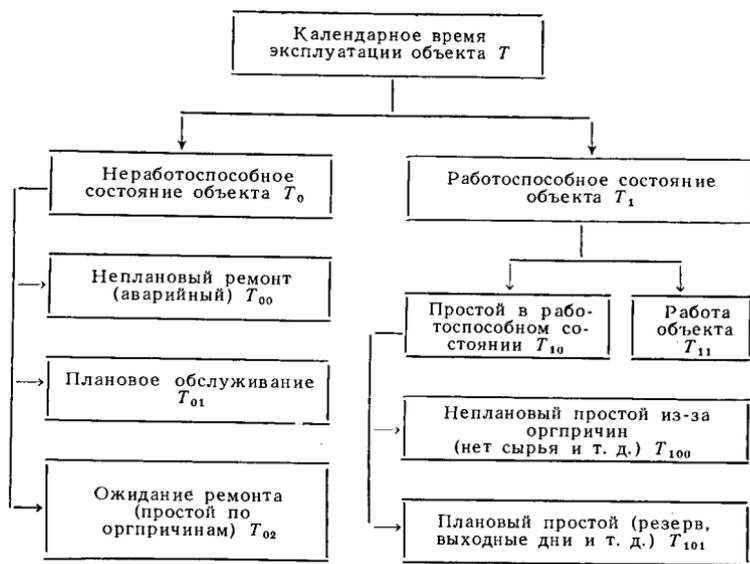
Приведенные определения показывают, что надежность оборудования зависит от качества технического обслуживания и ремонтов. Именно в этой связи и рассматриваются вопросы надежности оборудования. Наиболее важное значение вопросы надежности должны иметь при разработке нового оборудования, поэтому в настоящее время при такой разработке обязательно оценивается и надежность. В химической промышленности большая роль в повышении надежности отводится ремонтным службам и, в частности, службам надежности, которые целесообразно создавать на каждом предприятии.

Выход деталей из строя чаще всего происходит не из-за недостаточной прочности, а вследствие износа рабочих поверхностей.

Вторичный ресурс, т. е. ресурс, приобретаемый после первого капитального ремонта, не всегда равен первичному ресурсу, т. е. техническому ресурсу новой машины. В машине как бы накапливается усталость или старение, не устраняемые при капитальном ремонте. Например, для металлорежущих станков вторичный ресурс составляет 60—70% первичного ресурса. Однако основной причиной низкого вторичного ресурса является более низкое качество ремонтных работ по сравнению с качеством работ, проводимых при изготовлении машины на специализированном машиностроительном заводе.

Количественные показатели надежности выражаются в виде каких-либо абсолютных или относительных величин.

Показатели надежности могут быть получены из рассмотрения следующей схемы состояний объекта с учетом основной характеристики состояния объекта в этом состоянии:



В соответствии с этой классификацией состояний объекта получаем следующие выражения:

- 1) коэффициент технического использования

$$K_{т.и} = \frac{T_1}{T_1 + T_{00} + T_{01}}$$

- 2) коэффициент готовности

$$K_{г} = \frac{T_1}{T_1 + T_{00}}$$

- 3) коэффициент эффективности функционирования оборудования

$$K_{эф} = C_{ф}/C_{т}$$

где  $C_{ф}$ ,  $C_{т}$  — фактическая эффективность и суммарные затраты, соответственно, руб;

- 4) коэффициент экстенсивного использования оборудования

$$K_{эк} = T_{11}/T$$

- 5) коэффициент интенсивного использования оборудования

$$K_{ин} = q_{ф}/q_{т}$$

где  $q_{ф}$ ,  $q_{т}$  — фактическая и теоретическая производительность, соответственно;

6) коэффициент интегрального использования оборудования

$$K_{\text{и}} = K_{\text{эк}} K_{\text{ин}}$$

Необходимо отметить, что встречаются различные выражения для расчета рассмотренных показателей, однако приведенные выше соотношения являются отражением наиболее полного анализа состояний объекта.

Чаще всего употребляется коэффициент технического использования. Для аппаратов, применяемых на нефтеперерабатывающих заводах, коэффициент технического использования составляет 85—98%. Ниже представлены значения основных показателей надежности теплообменных аппаратов:

Наработка на отказ, ч . . . . .	15 000—25 000
Среднее время восстановления, ч . . . . .	25—45
Коэффициент технического использования . . . . .	0,935—0,970
Коэффициент готовности . . . . .	0,975—0,999

Источниками информации о надежности могут быть статистические данные по эксплуатации, аналитические расчеты, результаты ускоренных испытаний. Ускоренные испытания крупногабаритных аппаратов требуют больших затрат и позволяют получить очень приближенные показатели надежности, поэтому для определения надежности крупных аппаратов ускоренные испытания не применяются. Аналитические методы при использовании приближенных и усредненных значений различных коэффициентов также не позволяют получить достоверные данные о надежности. Наиболее точные данные удается получить при статистическом анализе эксплуатационных показателей оборудования.

Для этой цели сотрудники группы надежности регулярно делают выезды на заводы для сбора статистических данных по отказам оборудования. Группы надежности конструкторских отделов машиностроительных заводов используют эти данные для оперативного решения вопросов повышения надежности выпускаемого оборудования.

При оценке надежности и долговечности учитывается время работы оборудования без учета простоев, не связанных с его неисправностями. Для контроля времени работы к сети электродвигателя оборудования подключается прибор, состоящий из синхронного электродвигателя и счетчика.

Показателем надежности является также интенсивность отказов, т. е. количество отказов оборудования в единицу времени, отнесенное к количеству эксплуатируемого однотипного оборудования.

Надежность — это не только способность оборудования работать без аварий в течение определенного гарантированного срока, но и возможность наработки определенного количества продукции при устранении за короткий срок отдельных неполадок и аварий. Следовательно, в понятие надежности входит и понятие ремонтоспособности. Большое количество конструктивных, технологиче-

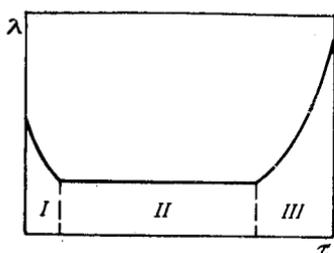


Рис. 2.7. Кривая интенсивности внезапных отказов  $\lambda$  детали.

ских и эксплуатационных факторов, влияющих на надежность, не позволяют дать точную методику ее расчета. Однако расчет надежности может быть проведен на основе вероятностно-статистических методов с использованием теории вероятностей и математической статистики.

Точно измерить или предсказать надежность нельзя; ее можно только приближенно оценить путем специально организованных испытаний или сбора эксплуатационных данных об отказах. Надежность разрабатываемого оборудования, состоящего в основном из стандартных узлов, можно оценить по надежности этих узлов.

Надежность — качественное и количественное свойство изделия, однако в дальнейшем будут иметься в виду лишь количественные ее показатели, такие как коэффициент технического использования или вероятность безотказной работы.

Кривая, характеризующая износ детали в процессе эксплуатации, представлена на рис. 2.2. В соответствии с физической картиной износа строится кривая интенсивности отказов детали (рис. 2.7). Участок I этой кривой характеризует изменение интенсивности отказов в период приработки, участок II — интенсивность отказов в период нормальной работы, участок III — изменение интенсивности отказов в период повышенного износа.

Возможные виды отказов перечислены ниже.

1. Отказы, имеющие место в ранний период эксплуатации машины (в период приработки). Приработочные отказы являются следствием несовершенства технологии изготовления деталей или некачественной сборки и контроля.

2. Внезапные отказы — имеют место при внезапной концентрации нагрузки, превышающей расчетную. Они возникают случайно, и предсказать их появление невозможно, но определить вероятность случайных отказов при использовании математического аппарата теории надежности можно.

3. Отказы, вызываемые износом деталей, — являются результатом старения машины. Средством их предотвращения служат своевременные осмотры, смазка, ремонт и замена изношенных деталей.

Приработочные отказы необходимо исключить путем обкатки оборудования.

Внезапные отказы могут произойти в любой момент времени с равной вероятностью. Например, если на заводе вступило в работу 200 центробежных насосов и интенсивность отказов составляет  $\lambda = 0,01$  месяц<sup>-1</sup>, то это означает, что от общего количества за первый месяц выйдет из строя 0,01 всего количества насосов, за второй — 0,01 оставшегося количества и т. д. Таким образом,

интенсивность отказов остается постоянной величиной по отношению к количеству работающих насосов, а количество работающих насосов будет экспоненциально уменьшаться до нуля.

Для внезапных отказов надежность описывается экспоненциальным законом:

$$P(\tau) = \exp(-\lambda\tau) \quad (2.2)$$

где  $\lambda$  — интенсивность внезапных отказов, ч<sup>-1</sup>;  $\tau$  — время работы, для которого определяется надежность, ч.

При малых значениях произведения  $\lambda\tau$  ( $\lambda\tau < 0,2$ ) после разложения в ряд правой части уравнения (2.2) и пренебрежения всеми членами ряда кроме первого получаем:

$$P(\tau) = 1 - \lambda\tau \quad (2.3)$$

Интенсивность отказов оборудования связана с вероятностью его безотказной работы соотношением

$$\lambda(\tau) = -\frac{1}{P(\tau)} \frac{dP(\tau)}{d\tau}$$

Вероятность безотказной работы, или количественная мера надежности,  $P(\tau)$  связана с вероятностью отказов  $Q(\tau)$  соотношением

$$P + Q = 1$$

Следовательно, вероятность отказов:

$$Q(\tau) = 1 - \exp(-\lambda\tau) \quad (2.4)$$

Кривая вероятности отказов для периода времени от 0 до  $\tau$  будет интегральной. Кривая плотности распределения вероятности отказов — дифференциальная; она характеризует интенсивность отказов в данный момент времени  $\tau$ , т. е. в интервал времени от  $\tau$  до  $\tau + d\tau$  при  $d\tau \rightarrow 0$ .

Плотность распределения вероятности отказов для экспоненциального закона может быть получена дифференцированием уравнения (2.4):

$$f(\tau) = \lambda \exp(-\lambda\tau)$$

Функция плотности распределения отказов  $f(\tau)$  имеет важное значение, так как интегрированием этой функции определяется вероятность отказов, а следовательно, и вероятность безотказной работы.

Таким образом, для начального периода работы изделия, т. е. при  $\tau = 0$  вероятность безотказной работы изделия по экспоненциальному закону равна единице, а при бесконечно большом сроке службы изделия ( $\tau \rightarrow \infty$ ) вероятность безотказной работы равна нулю.

Для периода повышенного износа плотность распределения вероятности отказов  $f(\tau)$  выражается нормальным законом:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{cp})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.5)$$

где  $\tau$  — момент времени, для которого рассматривается надежность;  $\tau_{\text{ср}}$  — средняя долговечность машины, соответствующая максимальной плотности распределения вероятности отказов;  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение.

Вероятность безотказной работы, т. е. количественная оценка надежности, для периода износа за время от  $\tau = 0$  до  $\tau = \tau$  имеет вид:

$$P(\tau) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}\right] d\tau \quad (2.6)$$

Поскольку кривая плотности распределения отказов [см. уравнение (2.5)] простирается от  $-\infty$  до  $+\infty$  по времени, а в действительности оборудование работает от момента времени  $\tau = 0$ , то имеет смысл интегрирование только от  $\tau = 0$ . С учетом этого уравнение (2.6) может быть переписано в виде:

$$P(\tau) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\tau}^{\infty} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}\right] d\tau \quad (2.7)$$

Уравнение (2.7) получено с учетом того, что полная площадь под кривой плотности распределения равна единице:

$$\int_{-\infty}^{\tau} f(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau) d\tau - \int_{\tau}^{+\infty} f(\tau) d\tau = 1 - \int_{\tau}^{+\infty} f(\tau) d\tau$$

Если для экспоненциального распределения интенсивность отказов для любого момента времени является величиной постоянной, то для нормального распределения интенсивность отказов зависит от времени начала эксплуатации машины и имеет максимальное значение в точке, соответствующей средней долговечности.

Теоретическая зависимость вероятности безотказной работы для экспоненциального и нормального распределений представлена на рис. 2.8. Для экспоненциального распределения кривая описывается уравнением (2.2), для нормального распределения — уравнением (2.7).

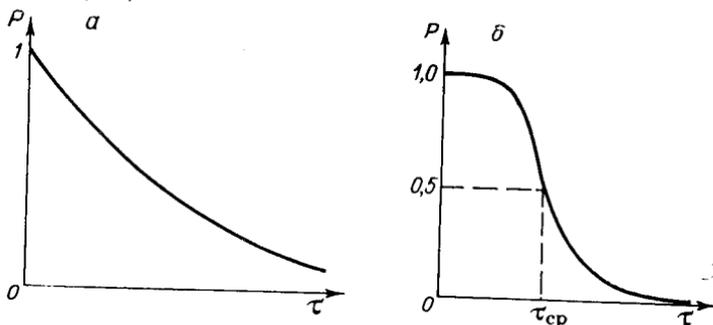


Рис. 2.8. Кривая вероятности безотказной работы:

*a* — для экспоненциального распределения; *б* — для нормального распределения.

На практике желательно работать в области внезапных отказов, не доводя состояние оборудования до износных отказов. Для этого применяются профилактические осмотры и ремонты. Таким образом, экспоненциальный закон приобретает важное значение для теории надежности машин.

Кроме экспоненциального и нормального распределений плотности вероятности отказов используются и другие распределения — биномиальное, распределение Пуассона, распределение Вейбулла и т. д.

Например, надежность по распределению Вейбулла описывается законом, похожим на экспоненциальный, но время работы оборудования возводится в степень  $\alpha$ :

$$P(\tau) = \exp(-\lambda\tau^\alpha)$$

Показатель степени, определяемый по опытным данным, позволяет описать более широкий класс кривых распределения, чем экспоненциальный закон.

Плотность вероятности отказов по распределению Вейбулла принимает вид:

$$f(\tau) = \alpha\lambda\tau^{\alpha-1} \exp(-\lambda\tau^\alpha)$$

По сравнению с экспоненциальным распределением здесь введен дополнительный параметр  $\alpha$ . При  $\alpha = 1$  распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное.

Нормальное распределение и распределение Вейбулла являются двухпараметрическими, т. е. они зависят от двух параметров.

Экспоненциальное распределение является однопараметрическим, т. е. оно зависит от одного параметра  $\lambda$ .

Экспоненциальный закон может быть выражен через среднюю продолжительность работы объекта до отказа  $\tau_{cp}$ , так как

$$\tau_{cp} = 1/\lambda$$

то

$$P(\tau) = \exp(-\tau/\tau_{cp})$$

Аналогично, распределение Вейбулла принимает вид:

$$P(\tau) = \exp(-\tau^\alpha/\tau_{cp}^\alpha)$$

В такой записи все законы, включая нормальный, выражаются через единый параметр. Например, уравнение (2.3) принимает вид:

$$P(\tau) = 1 - (\tau/\tau_{cp})$$

При расчете надежности разрабатываемого аппарата анализируется работа отдельных узлов и деталей.

Интенсивность отказов (или наработка на отказ) любого узла либо детали зависит от условий эксплуатации. Например, в производстве полимеров наработка на отказ гораздо меньше, чем

в других производствах, так как отказы наступают не из-за повреждения аппарата, а вследствие забивки его термополимером. При этом отказом считается не только физический износ аппарата, но и отклонение показателей его работы (например, производительности) за пределы допустимых значений. Поэтому при оценке надежности необходима информация об интенсивности отказов узлов и деталей в сравнимых условиях.

Интенсивность отказов всего аппарата является суммой интенсивностей отказов отдельных узлов. Аналогично, интенсивность отказов узла является суммой интенсивностей отказов деталей

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots = \sum \lambda_i$$

а вероятность безотказной работы аппарата или узла определяется по формуле:

$$P(\tau) = \exp(-\sum \lambda_i \tau)$$

Это выражение равносильно следующему общему выражению:

$$P(\tau) = P_1(\tau) P_2(\tau) P_3(\tau) \dots = \prod_{i=1}^n P_i(\tau)$$

где  $n$  — число деталей в сборочной единице или число сборочных единиц в машине.

Статистический анализ надежности химического оборудования показывает, что 90% его работает надежно, а 10% является мало надежным и имеет среднюю наработку на отказ менее 300 ч. В среднем для химической промышленности (без учета особенностей химических производств) к малонадежному оборудованию относятся следующие аппараты: теплообменники всех типов — 35,8%; емкости с мешалками — 25,9%; емкостные аппараты — 16,4%; фильтры всех типов — 8,7%; колонны — 4,2%; сушилки всех типов — 3,5%; прочее оборудование — 5,5%. В процентах выражена доля данного типа оборудования в общем объеме малонадежного оборудования. Из приведенных данных следует, что 60% всего малонадежного оборудования составляют теплообменники и аппараты с мешалками. Для этой группы аппаратов характерны следующие причины отказов: коррозионный износ — 64,2%; прогары корпуса — 1,7%; закупорка труб — 3,2%; разрушение лакирующего слоя — 6,0%; поломка деталей аппарата — 11,6%; износ деталей привода — 6,2%; износ сальников — 5,5%, износ подшипниковых узлов — 5,5%.

Таким образом, наиболее частая причина отказов химического оборудования — коррозионный износ.

**Надежность технологических линий.** Особенностью большинства производств химической промышленности является то, что все оборудование связано в единую технологическую линию. Поэтому вопросы надежности приобретают особое значение, так как

выход из строя одного аппарата грозит остановкой всей технологической цепочки.

Для крупных аппаратов надежность должна быть выше, поскольку их простой особенно дорог. Для аппаратов, связанных в единую технологическую цепочку, надежность всей схемы может быть рассчитана по надежности отдельных аппаратов.

При последовательном соединении аппаратов (рис. 2.9) надежность технологической схемы равна произведению надежностей аппаратов:

$$P(\tau) = P_1 P_2 P_3 \dots$$

Иногда для обеспечения надежности непрерывной технологической линии ставятся дублирующие (резервные) аппараты, которые в технологическом процессе не участвуют, но при отказе основного аппарата включаются в технологическую схему, заменяя отказавший аппарат.

Метод резервирования почти неприемлем для химического оборудования из-за больших габаритов оборудования и высокой его стоимости. Для крупнотоннажного оборудования большой единичной мощности резерв полностью исключается. Из всех видов химического оборудования резерв наиболее часто предусматривается для насосного оборудования.

При наличии резервных аппаратов, применяя экспоненциальное распределение для оценки надежности, используем тождество:

$$\exp(-\lambda\tau) \exp(\lambda\tau) \equiv 1 \quad (2.8)$$

В уравнении (2.8)  $\exp(-\lambda\tau)$  обозначает вероятность безотказной работы, а  $\exp(\lambda\tau)$  — вероятность отказов. Разложим  $\exp(\lambda\tau)$  в ряд:

$$\exp(\lambda\tau) = 1 + \lambda\tau + \frac{(\lambda\tau)^2}{2!} + \frac{(\lambda\tau)^3}{3!} + \dots$$

Теперь уравнение (2.8) примет вид:

$$\exp(-\lambda\tau) \left[ 1 + \lambda\tau + \frac{(\lambda\tau)^2}{2!} + \frac{(\lambda\tau)^3}{3!} + \dots \right] = 1 \quad (2.9)$$

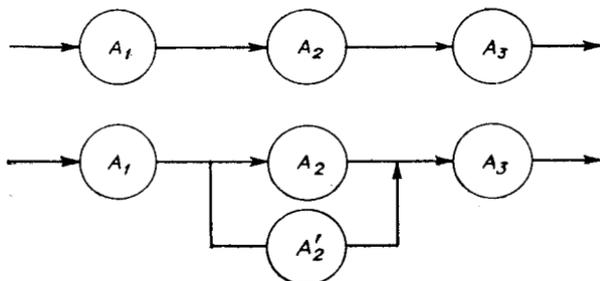


Рис. 2.9. Соединение аппаратов в технологическую схему.

В уравнении (2.9)  $\exp(-\lambda\tau) \cdot 1$  представляет собой вероятность того, что не произойдет ни одного отказа,  $\exp(-\lambda\tau) \lambda\tau$  — вероятность того, что произойдет один отказ,  $\exp(-\lambda\tau) (\lambda\tau)^2/2!$  — вероятность того, что произойдет два отказа, и т. д.

При наличии основного и одного резервного аппарата допустим один отказ, т. е. отказ основного аппарата, поэтому вероятность безотказной работы всего узла, состоящего из основного и резервного аппаратов, будет равна:

$$P(\tau) = \exp(-\lambda\tau)(1 + \lambda\tau) \quad (2.10)$$

Уравнение (2.10) показывает, что не произойдет отказа обоих аппаратов или произойдет отказ только основного аппарата.

Рассмотренный способ резервирования называется ненагруженным резервом, так как резервный аппарат включается в работу только после отказа основного аппарата. В химической промышленности часто используется принцип нагруженного резерва. При нагруженном резервировании резервный аппарат все время работает наряду с основным аппаратом. Практически в работе находятся два аппарата. Оба аппарата работают параллельно, но в половину своей максимальной производительности, и при отказе одного из них вся нагрузка переходит на второй аппарат, а отказавший аппарат отключается для проведения ремонта.

Нагруженный резерв, как и ненагруженный, позволяет повысить надежность узла. Для нагруженного резерва вероятность отказа равна произведению вероятностей отказов обоих аппаратов:

$$Q(\tau) = Q_1 Q_2$$

Произведение вероятностей отказов означает, что отказ возможен лишь при отказе обоих аппаратов.

Надежность узла из двух аппаратов, работающих по способу нагруженного резерва, будет равна:

$$P(\tau) = 1 - Q(\tau) = 1 - Q_1 Q_2$$

Так, при надежности каждого аппарата  $P_1 = P_2 = 0,9$  надежность всего узла составит:

$$P(\tau) = 1 - 0,1^2 = 0,99$$

Примером нагруженного резерва может служить установка двух кипятильников на массообменных колоннах непрерывного действия. Необходимая производительность колонны обеспечивается одним кипятильником. Второй кипятильник является резервным и включается в работу при выходе из строя первого кипятильника. Необходимость установки резервного кипятильника в данном случае объясняется малой наработкой на отказ кипятильника по сравнению с наработкой на отказ самой колонны.

Нагруженный резерв используется в тех случаях, когда недопустима даже кратковременная остановка аппарата. Резерви-

вание может производиться для одного аппарата, для группы аппаратов или для всей технологической системы.

На заводах химической промышленности обычно имеется несколько параллельно работающих технологических цепочек. Аппараты каждой цепочки допускают некоторую перегрузку. Поэтому при отказе какого-либо аппарата одной технологической цепочки его нагрузка может быть распределена между подобными аппаратами других цепочек. Это позволяет не останавливать на ремонт всю технологическую цепочку, в которой находится отказавший аппарат.

Так, на заводах синтетического каучука работают параллельно 4—5 технологические цепочки получения и выделения каучука. При остановке любого аппарата его нагрузка распределяется на аналогичные аппараты других технологических цепочек. Система обвязки трубопроводов позволяет осуществлять отключение и замену отказавшего аппарата.

Однако при ненагруженном резерве резервный аппарат находится в неработающем состоянии и поэтому сохраняет свой технический ресурс, тогда как при нагруженном резерве технический ресурс резервного аппарата расходуется.

Рассмотренные положения теории надежности машин и аппаратов показывают, что ремонтная характеристика машины тесно связана с ее надежностью. В настоящее время модернизация оборудования, повышающая его надежность, осуществляется в период остановки оборудования на ремонт. Повышение надежности, а следовательно, и межремонтного пробега достигается усовершенствованием конструкции отдельных узлов с использованием новых коррозионностойких материалов и различными методами упрочнения поверхности деталей.

При модернизации с целью повышения надежности и долговечности машин усовершенствованию подвергается деталь, сопряжение деталей или сборочная единица. Модернизация заключается в проведении следующих работ: 1) анализа причин низкой надежности и долговечности детали, сопряжения или сборочной единицы; 2) выбора метода повышения надежности; 3) практического осуществления и эксплуатационной проверки метода; 4) уточнения или изменения метода с технико-экономической оценкой его эффективности.

Повышение долговечности машин позволяет достигнуть: 1) уменьшения простоя машин и, следовательно, повышения производительности; 2) снижения затрат на ремонт, уменьшения расхода запчастей и материалов, высвобождения металлорежущего оборудования ремонтных цехов.

Одним из способов повышения надежности и долговечности является правильный подбор материалов. Например, повышение долговечности многих деталей, работающих при высокой температуре, достигается заменой металлических деталей на бетонные или асбоцементные. Футеровка жаростойким бетоном труб-

катализаторопроводов и циклонов установок с кипящим слоем катализатора повышает долговечность этих узлов более чем в два раза.

Клапанные пластины в компрессорах работают дольше, если они изготовлены из титана, а не из стали.

Замена металлических подшипников на пластмассовые позволяет в 10 раз повысить долговечность подшипников. При использовании пластмассового подшипника устраняется износ вала, что повышает ремонтпригодность машины. В узлах уплотнения замена кожаных манжет на манжеты, изготовленные на основе полихлорвинилового смолы, также увеличивает срок службы манжет в 10 раз. Подшипники качения, устанавливаемые на валковых машинах, оказываются в 2—3 раза долговечней подшипников скольжения. В контактных аппаратах спиральные электроподогреватели разрушаются от потока газов и вибрации элементов спирали (выходят из строя изоляторы); использование стержневых подогревателей позволяет в несколько раз увеличить долговечность.

Для защиты от абразивного износа и воздействия вибраций целесообразно применение резинометаллических деталей. Например, замена металлических трубок гидросистем, подверженных вибрации, на резинометаллические шланги заметно повышает надежность гидросистем.

Оборудование из дефицитных и дорогостоящих материалов экономически оправдывается повышенной надежностью и низкими эксплуатационными затратами. Для труб из мягких материалов, например из титана, замена приварных колец отбортовкой труб повышает надежность трубных элементов за счет устранения сварного шва.

По сравнению с металлами у пластмасс коэффициент термического расширения в 8—15 раз больше, коэффициент теплопроводности в 200—400 раз меньше, модуль упругости в 10—20 раз ниже. Кроме того, пластмассы имеют склонность к ползучести при действии постоянной нагрузки и способность поглощать влагу до 12%. С учетом этих свойств пластмассовые вкладыши конструируются в виде втулок с разрезами различной формы. Разрезы и пустоты позволяют уменьшить влияние свойств пластмасс на работоспособность вкладыша.

Для химической промышленности надежность оборудования всегда связана со свойствами перерабатываемого продукта. Так, надежность одного и того же насоса значительно изменяется при перекачке различных агрессивных жидкостей. Наиболее часто из строя выходят уплотнения.

Надежность химического оборудования зависит не только от свойств перерабатываемой среды, но и от габаритов аппаратуры. В химической промышленности эксплуатируются аппараты повышенной единичной мощности, простой которых в ремонте приносит большие убытки. При увеличении габаритов аппарата по-

вышается протяженность сварных швов, возрастают площади уплотнительных поверхностей и т. д. В результате этого увеличивается вероятность отказа аппарата. Резерв для аппаратов высокой единичной мощности экономически неэффективен, поэтому к надежности этих аппаратов предъявляются повышенные требования.

Примером повышения надежности технологической линии, осуществляемого в период ремонта, является изменение обвязки насосов в отделении пылеулавливающих скрубберов. По существовавшей схеме подача орошающей воды на каждый скруббер осуществлялась своим насосом. При реконструкции насосы были соединены общим коллектором. Такая обвязка насосов повысила надежность работы отделения пылеулавливания, поскольку при выходе из строя одного насоса не выходит из строя ни один из скрубберов.

При расчетах экономической эффективности повышения надежности действующего оборудования принимается, что дополнительные капитальные вложения окупятся в течение нормативного срока окупаемости, принятого в химической промышленности (5 лет).

**Пример 2.6.** Рассчитать вероятность безотказной работы изделия за период, равный средней продолжительности работы до отказа.

Решение.

$$P(\tau) = \exp(-\tau/\tau_{cp}) = \exp(-1) = 0,368$$

**Пример 2.7.** Аппарат с мешалкой состоит из четырех сборочных единиц — двигателя, редуктора, перемешивающего устройства, корпуса. Интенсивность отказов двигателя и редуктора  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,1 \text{ год}^{-1}$ , перемешивающего устройства  $\lambda_3 = 0,5 \text{ год}^{-1}$ , корпуса  $\lambda_4 = 0$ . Определить вероятность безотказной работы аппарата в течение 6 месяцев.

Решение.

$$P(\tau) = \exp(-\sum \lambda_i \tau) = \exp[(-0 - 2 \cdot 0,1 - 0,5) \cdot 0,5] = 0,7$$

**Пример 2.8.** Отделение цеха состоит из трех аппаратов. Первый и второй из них работают последовательно, третий является нагруженным резервом для второго аппарата. Определить надежность работы технологической схемы отделения цеха, если надежности аппаратов равны, соответственно,  $P_1 = 0,9 \text{ год}^{-1}$ ,  $P_2 = P_3 = 0,5 \text{ год}^{-1}$ .

Решение. Рассчитываем надежность работы в течение года. Надежность узла с резервированием:

$$P_{2,3} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3) = 1 - 0,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

Надежность всей технологической схемы отделения цеха:

$$P_{\text{общ}} = P_1 P_{2,3} = 0,9 \cdot 0,75 = 0,67$$

**Пример 2.9.** В отделении цеха находятся четыре аппарата. Два аппарата работают последовательно, а два других являются резервными и в работе не находятся (ненагруженный резерв). Интенсивность отказов каждого аппарата  $\lambda = 0,8 \text{ год}^{-1}$ . Определить надежность всей схемы при работе в течение года.

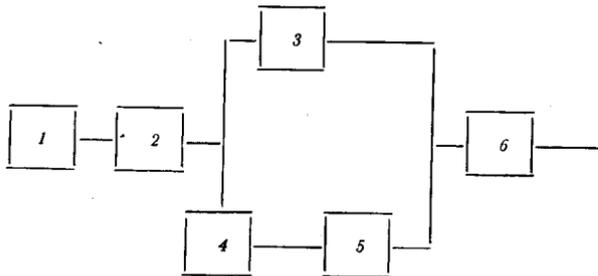
Решение. Надежность узла с одним резервным ненагруженным аппаратом:

$$P_{1,3} = (1 + \lambda \tau) \exp(-\lambda \tau) = (1 + 0,8 \cdot 1) \exp(-0,8 \cdot 1) = 0,82$$

Надежность всей технологической схемы:

$$P = P_{1,3}P_{2,4} = 0,82 \cdot 0,82 = 0,67$$

**Пример 2.10.** Рассчитать надежность технологической линии



если надежность каждого элемента  $P_i = 0,9$ .

**Решение.** Надежность узла 4—5:

$$P_{4,5} = P_4P_5 = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$$

Надежность узла 3—4—5:

$$P_{3,4,5} = 1 - (1 - P_3)(1 - P_{4,5}) = 1 - (1 - 0,9)(1 - 0,81) = 0,981$$

Надежность технологической линии:

$$P = P_1P_2P_{3,4,5}P_6 = 0,9^3 \cdot 0,981 = 0,715$$

**Пример 2.11.** По условиям предыдущего примера рассчитать надежность работы технологической схемы в течение 100 ч, если вместо надежности отдельных аппаратов заданы интенсивности отказов:  $\lambda_1 = \lambda_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 20 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_6 = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ .

**Решение.** Надежность узла 4—5:

$$P_{4,5} = P_4P_5 = \exp[-(\lambda_4 + \lambda_5)\tau]$$

Надежность узла 3—4—5:

$$P_{3,4,5} = 1 - [1 - \exp(-\lambda_3\tau)][1 - \exp(-\lambda_4\tau - \lambda_5\tau)]$$

Надежность технологической линии:

$$P = \{1 - [1 - \exp(-\lambda_3\tau)][1 - \exp(-\lambda_4\tau - \lambda_5\tau)]\} \cdot \exp(-\lambda_1\tau - \lambda_2\tau - \lambda_6\tau)$$

После подстановки числовых значений получаем  $P = 0,384$ .

**Пример 2.12.** Для аппарата, состоящего из 6 узлов с интенсивностью отказов  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ,  $\lambda_5 = \lambda_6 = 20 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ , определить срок службы, соответствующий надежности  $P = 0,5$ .

**Решение.** Надежность аппарата с учетом последовательного соединения узлов:

$$P = \exp(-\sum \lambda_i\tau)$$

Предельный срок службы:

$$\tau = -\frac{\ln P}{\sum \lambda_i} = -\frac{\ln 0,5}{4 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 20 \cdot 10^{-5}} = 1570 \text{ ч}$$

**Пример 2.13.** Сравнить, во сколько раз надежность узла, состоящего из основного и резервного аппарата, при ненагруженном резерве выше, чем при нагруженном резерве.

Решение. Надежность узла при ненагруженном резерве:

$$P_1 = \exp(-\lambda\tau) (1 + \lambda\tau)$$

Надежность узла при нагруженном резерве:

$$P_2 = 1 - (1 - P)^2 = 1 - [1 - \exp(-\lambda\tau)]^2$$

Отношение надежностей:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\exp(-\lambda\tau) (1 + \lambda\tau)}{1 - [1 - \exp(-\lambda\tau)]^2} = \frac{1 + \lambda\tau}{2 - \exp(-\lambda\tau)}$$

Из последнего выражения следует, что отношение надежностей зависит от значения  $\lambda\tau$ . Задаваясь различными значениями  $\lambda\tau$ , получаем:

$\lambda\tau$ . . . . .	0	1	2	5	10	50
$P_1/P_2$ . . . . .	1	1,22	1,61	3,0	5,5	25,5

**Пример 2.14.** Сборочная единица состоит из 8 деталей с вероятностью безотказной работы каждой из них 0,99. После модернизации узла в нем осталось 6 деталей с такой же вероятностью безотказной работы. Определить, во сколько раз уменьшилась при этом вероятность отказа узла.

Решение.

$$\frac{Q_8(\tau)}{Q_6(\tau)} = \frac{1 - P^8(\tau)}{1 - P^6(\tau)} = \frac{1 - 0,99^8}{1 - 0,99^6} = 1,34 \text{ раза}$$

### 2.3. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

Ремонтопригодность входит в понятие надежности. Однако высокая надежность машины не всегда означает высокую ремонтнопригодность. Поэтому при разработке машины (аппарата) приходится обращать особое внимание на обеспечение достаточного уровня ремонтнопригодности. Ремонтнопригодность может быть предусмотрена при проектировании машины; для существующей машины способ повышения ремонтнопригодности намечается в процессе ее эксплуатации и осуществляется как модернизация, направленная на повышение эксплуатационных характеристик.

Повышение ремонтнопригодности существующих машин выполняется силами ремонтных служб. Часто в этой работе принимает участие бюро (группа) механизации и автоматизации. Во многих случаях высокая стоимость ремонта объясняется не только отсталостью ремонтного хозяйства, но и непригодностью конструкций машин к своевременному выявлению и ликвидации отказов, к выполнению ремонта с минимальными затратами. Для некоторых видов сложного оборудования выявление неисправности занимает 50% всего времени ремонта.

Ремонтопригодность характеризуется приспособленностью машины к выявлению повреждений, ремонтодоступностью и ремонтоспособностью. Приспособленность к определению повреждений, к диагностике технического состояния без разборки машины зависит от конструкции машины, наличия предохранительных, сигнальных, измерительных устройств и открытых для обзора

узлов. Иногда приспособленность к отысканию повреждений называют также контролепригодностью. Контролепригодность — это свойство конструкции машины, обеспечивающее возможность удобного контроля состояния узлов и деталей с применением контрольных методов или контрольно-измерительного инструмента.

Ремонтодоступность определяется доступностью и легкосъемностью. Доступность оценивается легкостью доступа к узлам и отдельным деталям для осмотра и ремонта и зависит от наличия открываемых люков и крышек, необходимости демонтажа других узлов и деталей. Легкосъемность определяется способом крепления узлов и деталей, конструкцией разъемов и весом снимаемых деталей. Необходимо стремиться к тому, чтобы все подверженные интенсивному износу детали были легкосъемными. Одним из средств обеспечения легкосъемности является сокращение типоразмеров крепежных деталей, используемых в машине. Агрегирование, т. е. расчленение машины на агрегаты (узлы), тоже обеспечивает легкосъемность, хотя при этом не всегда удается добиться малого веса снимаемых узлов.

Ремонтоспособность определяется способностью машины к замене деталей и способностью деталей к восстановлению. Для обеспечения ремонтоспособности важное значение имеет взаимозаменяемость деталей, регулируемость узлов, компенсируемость износа и т. д.

Повышение ремонтпригодности существующей машины выполняется в период модернизации, совмещаемой с ремонтом. Модернизацией называется внесение в конструкцию машины изменений и усовершенствований с целью приближения общего технического уровня к уровню современных моделей машин аналогичного назначения. Таким образом, модернизация предотвращает моральный износ. В настоящее время при ремонте осуществляется модернизация 50% всех крупных технологических установок. Основная цель модернизации машин — повышение их производительности, однако ремонтная служба может выполнять модернизацию, направленную на повышение эксплуатационных характеристик машины. Модернизация с целью упрощения разборки-сборки предполагает обеспечение свободного доступа к крепежным деталям, возможность легкой запрессовки и выпрессовки из корпусной детали втулок, стаканов, пальцев, возможность легкого и независимого демонтажа узлов. Для быстровращающихся деталей следует предусматривать возможность быстрой балансировки деталей и узлов.

Для определения ремонтпригодности любой агрегат может быть представлен в виде системы, состоящей из нескольких уровней: I — агрегат; II — машина (аппарат); III — узел; IV — деталь. Такая классификация позволяет проследить за тем, как изменяется понятие ремонтпригодности от низших уровней системы к высшим. Если, например, для уровня IV ремонтпригодность

практически неотделима от других составляющих — надежности, долговечности и безотказности, то на уровне I ее можно рассматривать как самостоятельное свойство, которое обуславливает приспособленность агрегата к техническому обслуживанию и ремонту.

Количественно ремонтпригодность характеризуется долей времени исправной работы аппарата  $K_p$ :

$$K_p = \frac{T_6}{T_6 + T_p + T_0} \quad (2.11)$$

где  $T_6$  — продолжительность безотказной работы;  $T_p$  — продолжительность простоя на ремонте;  $T_0$  — время, затраченное на техническое обслуживание.

Уравнение (2.11) тождественно выражению для коэффициента технического использования  $K_{т.и.}$ . Это закономерно, если учесть, что ремонтпригодность неотделима от надежности.

Основные требования к ремонтпригодности оборудования можно разделить на две группы.

К первой группе относятся требования, обеспечивающие ремонтпригодность оборудования при осмотре и ремонте на месте: свободный доступ к узлам и деталям, подлежащим осмотру, регулировке или замене; быстрая замена изнашивающихся деталей; наладка взаимодействия узлов и деталей, нарушенного в процессе работы; проверка качества смазки, ее замена или пополнение на месте работы оборудования; быстрое определение причин аварий и отказов в работе оборудования и их устранение.

Сборка и разборка элементов оборудования, осмотр и замена деталей и смазки, наладка должны осуществляться с помощью небольшого количества простых инструментов и приспособлений. Ремонтпригодность оборудования будет тем выше, чем ближе к оптимальной величине работоспособность всех деталей.

Ко второй группе относятся требования, обеспечивающие ремонтпригодность при ремонте оборудования в РМЦ предприятий. Для этого в конструкции оборудования должны быть предусмотрены: простота разборки и сборки узлов, а также их комплексов; применение простых средств механизации на операциях разборки и сборки; максимальная возможность восстановления номинальных размеров изнашивающихся элементов корпусов, сложных и базовых деталей; экономическая оправданная возможность восстановления номинальных размеров изнашивающихся элементов остальных деталей; простота проверки состояния деталей и узлов после стендовых испытаний; возможность проверки взаимодействия всех частей оборудования после ремонта.

Рассмотрим несколько примеров повышения ремонтпригодности.

Примером повышения ремонтпригодности в период ремонта может служить реконструкция концевого подшипника реакционного аппарата с мешалкой. Привод мешалки аппарата состоит из

двигателя, редуктора, вала и концевого подшипника. Такая конструкция привода принята как типовая. Она обеспечивает достаточную работоспособность аппарата лишь для определенных условий, при которых концевой подшипник редко выходит из строя. Однако при работе с сильнокоррозионными средами, когда концевой подшипник выходит из строя через 2—3 недели, эта конструкция дает очень низкое значение коэффициента ремонтпригодности, что связано с большой относительной затратой времени на разборку-сборку привода. Для смены пары трения в концевом подшипнике приходится снимать редуктор, поднимать вал и только после этого снимать плиту концевого подшипника, в которой запрессована неподвижная втулка пары трения. При сборке работы проводятся в обратном порядке. Для уменьшения продолжительности сборки-разборки было спроектировано и изготовлено несколько конструкций концевого подшипника, в которых плита подшипника снимается без предварительного демонтажа редуктора и вала. В первом варианте концевой подшипник остается на днище внутри аппарата, а плита концевого подшипника заводится на вал и опору подшипника снизу. Во втором варианте концевой подшипник крепится к днищу с наружной стороны аппарата с вырезкой отверстия в днище и установкой герметичного колпака вокруг концевого подшипника. В третьем варианте концевой подшипник крепится непосредственно на фланце, который устанавливается в середине днища. Все эти варианты позволяют резко увеличить коэффициент ремонтпригодности, хотя и имеют свои достоинства и недостатки.

Приведенный пример показывает, что надежность аппарата зависит от свойств перерабатываемой среды, а повышение ремонтпригодности аппарата по результатам его эксплуатации намечает и осуществляет ремонтная служба.

Другой пример повышения ремонтпригодности за счет сокращения времени на сборку-разборку — использование разъемной

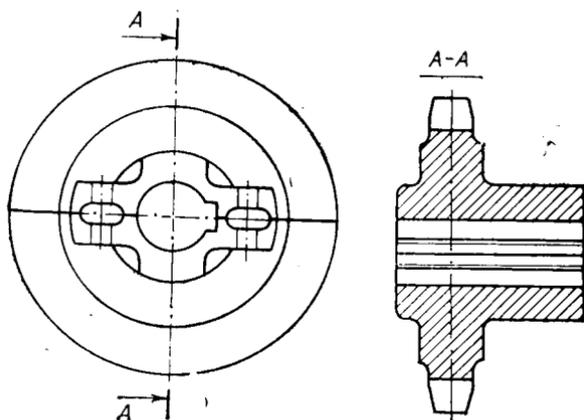


Рис. 2.10. Разъемная звездочка.

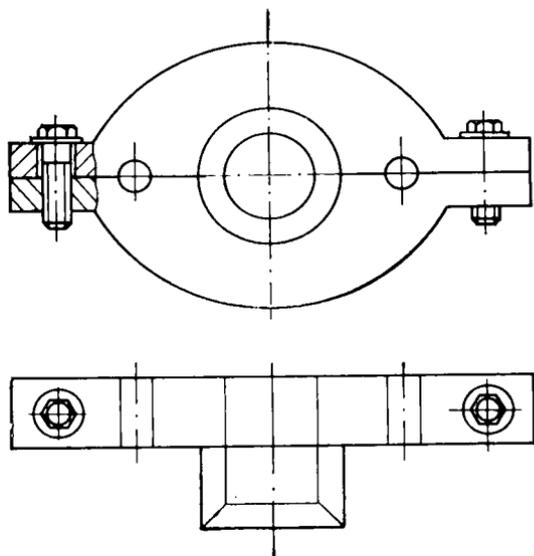
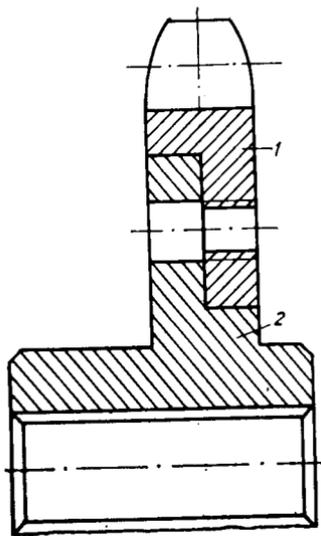


Рис. 2.11. Составная звездочка.  
1 — венец; 2 — ступица.

Рис. 2.12. Разъемная нажимная втулка сальника.

звездочки (рис. 2.10) в цепных передачах, в которых звездочка часто выходит из строя вследствие износа зубьев. Звездочка, изготовленная из двух половинок, снимается с вала и устанавливается на вал при ремонте без разборки подшипниковых опор и передаточных устройств, установленных на валу. Замена сплошной звездочки на составную (рис. 2.11) позволяет при ремонте изготавливать заново венец 1 при сохранении старой ступицы 2, что приводит к экономии материалов и затрат времени на ремонт.

Следующий этап модернизации — применение составной звездочки, у которой венец состоит из двух половинок. Для такой звездочки удастся экономить время как на разборке-сборке, так и при изготовлении изношенного венца.

Модернизация звездочки усложняет ее конструкцию и оправдана лишь в том случае, если при усложнении достигается существенный экономический эффект от повышения ремонтпригодности детали, т. е. усложнение конструкции экономически эффективно только для быстроизнашивающихся деталей. Общим же правилом при повышении ремонтпригодности является упрощение конструкции и использование унифицированных узлов и деталей.

В труднодоступных местах для уменьшения времени на замену сальниковой набивки применяются разъемные нажимные втулки (рис. 2.12).

Подобные способы повышения ремонтпригодности возможны для машин (аппаратов), у которых компоновка узлов такова, что

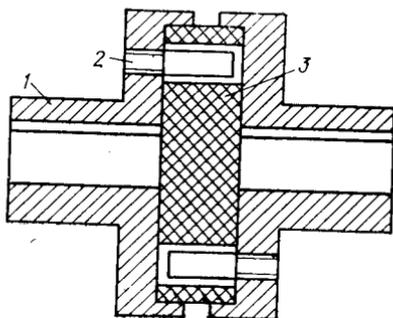


Рис. 2.13. Эластичная муфта:

1 — полумуфта; 2 — палец-шпилька; 3 — эластичный диск.

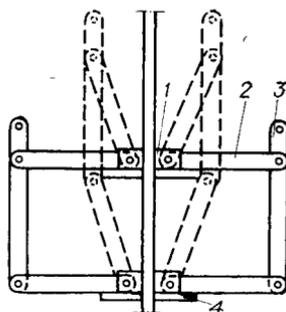


Рис. 2.14. Складная мешалка:

1 — втулка; 2 — горизонтальная лопасть; 3 — вертикальная лопасть; 4 — ограничитель.

для замены недолговечных элементов необходимо выполнять значительный объем работ по разборке смежных узлов.

В аппаратах, подвергаемых частой чистке, внутренние ребра жесткости заменяются на наружные. Этот вид модернизации также повышает ремонтпригодность аппаратов за счет уменьшения времени их чистки.

При демонтаже червячных колес иногда приходится сверлить в них два отверстия для захвата колеса съемником.

В вентиляторах некоторых типов для замены подшипников на валу необходимо снимать рабочее колесо с вала. В большинстве конструкций вентиляторов не предусмотрена возможность облегчения этой операции. В период ремонта к рабочему колесу приваривается кольцо, за которое укрепляется специальный съемник. Таким образом, в конструкции машины могут появиться дополнительные детали, не мешающие основному ее назначению и облегчающие только ремонтные работы.

Повышение ремонтпригодности можно обеспечить, если предусмотреть дополнительные рабочие поверхности. Например, полумуфты могут иметь 6 рабочих отверстий и расположенные между ними 6 запасных отверстий.

Ремонт втулочно-пальцевых муфт сложен, так как муфта имеет несколько соединительных элементов (пальцев и втулок), а изготовление полумуфт требует обработки конических отверстий. Замена нескольких резиновых втулок на одну крупную резиновую кольцевую оболочку повышает ремонтпригодность муфт.

Эластичная муфта (рис. 2.13) имеет меньшее количество деталей и намного проще в ремонте, чем втулочно-пальцевая. Она менее чувствительна к несоосности валов. Эластичный диск выполняется из многослойной прорезиненной ленты. Количество пальцев-шпилек зависит от величины передаваемого крутящего момента.

Использование шпилек в промежуточных опорах длинного вала нерационально, так как при повреждении резьбы опора должна заменяться. Большой ремонтпригодностью обладает опора с болтовым креплением.

Для облегчения монтажных работ при ремонте применяется складная мешалка (рис. 2.14), в которой горизонтальные и вертикальные лопасти соединены с втулками вала и между собой на шарнирах. При подъеме за верхние отверстия вертикальных лопастей мешалка складывается, уменьшаясь в диаметре, что упрощает ее заведение в аппарат и извлечение оттуда. При монтаже мешалки горизонтальные лопасти опускаются на упоры-ограничители.

Влияние сборочных операций на трудоемкость ремонта учитывается коэффициентом ремонтоспособности:

$$K_p = \frac{t_3}{t_3 + t_d}$$

где  $t_3$  — трудоемкость замены изношенной детали, чел.-ч;  $t_d$  — трудоемкость демонтижно-монтажных работ для замены детали, чел.-ч. Этот показатель, в отличие от доли времени исправной работы аппарата (2.11), учитывает затраты труда, расходуемые непосредственно на выполнение ремонта.

При оценке ремонтпригодности необходимо учитывать, что время восстановления оборудования является суммой двух слагаемых — продолжительности ремонта и потерь времени по организационным причинам. При этом время простоя оборудования по организационным причинам сравнимо со временем собственно ремонта.

Ремонтоспособность, безотказность и долговечность являются свойствами или показателями надежности. В большинстве случаев в первую очередь должны обеспечиваться безотказность и долговечность, а ремонтпригодность рассматривается как второстепенный фактор. Ремонтная служба при достаточном уровне безотказности и долговечности машины или аппарата наибольшее внимание обращает на обеспечение ремонтпригодности. Устранение следующих недостатков конструкций позволяет повысить ремонтпригодность машин и аппаратов: 1) отсутствие подвесных устройств для деталей весом более 200 Н (20 кгс); 2) отсутствие свободного доступа к соединениям, требующим периодической проверки и подтяжки, к местам регулировки, уровнемерам, сливным и другим устройствам; 3) отсутствие фиксации одной из деталей крепежной резьбовой пары при трудном доступе к соединению; 4) необходимость использования нестандартного инструмента; 5) отсутствие контрольных и сигнальных устройств, указывающих на нарушение нормальной работы машины или аппарата; 6) отсутствие легкосъёмных щитков и люков для контроля и ремонта аппарата, а также отсутствие устройств для защиты ответственных

узлов от пыли и грязи; 7) совмещение быстроизнашивающихся и неизнашивающихся поверхностей в одной крупной детали.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

2.1. Допустимая температура нагрева подшипников при работе составляет  $60^{\circ}\text{C}$ . Какие причины могут привести к повышению температуры выше допустимой?

2.2. На рис. 2.15 показан абразивный износ диска. Для увеличения срока службы диска предлагаются два новых варианта диска. Какой из предлагаемых дисков лучше и почему?

2.3. Ремонт зубчатого зацепления возможен путем разворота шестерен на  $180^{\circ}$ . Чем объясняется возможность такого способа ремонта?

2.4. В каком случае износ втулки будет равномерным, когда втулка вращается, а вал неподвижен или когда втулка неподвижна, а вал вращается?

2.5. Надежность машины, состоящей из 40 деталей, должна быть 0,9. Какой должна быть надежность детали при равной интенсивности отказов для всех деталей?

2.6. Нарботка на отказ, выраженная в единицах времени, обозначается терминами «среднее время безотказной работы» и «средняя наработка до отказа». Какой из этих терминов относится к ремонтируемому изделию и какой к неремонтируемому изделию?

2.7. Фильтровальные ткани из натуральных волокон (сукно, диагональ, бельтинг) имеют малую механическую прочность и низкую стойкость к агрессивным средам. Синтетические ткани (лавсан, полипропилен и др.) превосходят натуральные по химической стойкости и механической прочности. Регенерация их (очистка от осадка) осуществляется проще и качественнее — промывкой струей воды из шланга. Какой показатель — долговечность или ремонтпригодность — повышается при замене натуральных тканей на синтетические?

2.8. Два аппарата, соединенные трубой, размещаются один — на первом этаже, другой — на втором этаже. Трубопровод имеет фланцевый разъем. В каком случае ремонтпригодность этой системы будет выше, когда фланцевый разъем располагается под перекрытием или над перекрытием?

2.9. Муфта, изображенная на рис. 2.13, не дает шума, надежна в работе и не требует точной центровки. Однако при значительной расцентровке долговечность муфты снижается. Чем это объяснить? В чем недостаток этой муфты по сравнению с втулочно-пальцевой муфтой?

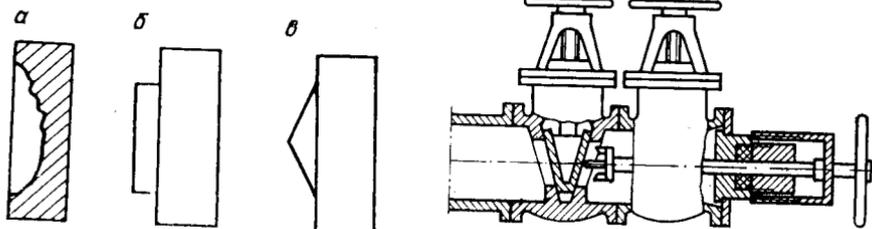


Рис. 2.15. Диск:

а — характер износа; б, в — модернизированный диск.

Рис. 2.16. Приспособление для установки новой задвижки на действующем трубопроводе.

2.10. При чистке трудноснимаемых подшипников в крышке подшипникового узла делается резьбовое отверстие для подачи моющей жидкости, а затем смазки. После завершения чистки отверстие заглушается. За счет чего в данном случае достигается повышение ремонтпригодности? К какой группе требований к ремонтпригодности — первой или второй — относится это усовершенствование?

2.11. При повреждении задвижки (например, срыв резьбы при закрывании) на действующем трубопроводе производится установка новой задвижки, а в поврежденной задвижке прорезается окно с помощью приспособления, показанного на рис. 2.16. Какова последовательность ремонтных операций по установке задвижки? В чем сходство этого приспособления с приспособлением, применяемым для врезки в действующий трубопровод (см. рис. 6.40)? В чем выражается повышение ремонтпригодности при использовании этого метода ремонта?

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Под технологией ремонта понимается технический способ выполнения ремонта с определенной последовательностью операций. При этом можно выделить способы восстановления, общие для всех деталей, и способы восстановления типовых деталей и сборочных единиц.

Восстановление деталей применяется при отсутствии запасных частей. Экономичность такого метода заключается в том, что восстановление может обходиться дешевле, чем изготовление новой детали.

Стоимость восстановления детали обычно составляет 10—25% стоимости изготовления новой детали, а для базовых деталей сложной конфигурации — 5—10%.

Выбор способа восстановления определяется величиной и характером износа, необходимой термообработкой, конструктивными особенностями, размерами и характером нагрузок, действующих на деталь.

Метод восстановления должен обеспечить полноценность детали в условиях эксплуатации и быть экономически целесообразным. При выборе метода восстановления необходимо учитывать стоимость восстановления и долговечность не только восстанавливаемой детали, но и детали, с ней сопряженной, так как износ сопряженной детали зависит от метода восстановления ремонтируемой детали. Наплавка твердыми сплавами также увеличивает износ сопряженной детали. Для повышения технико-экономических показателей ремонта способ восстановления должен выбираться не только по техническим возможностям ремонтного цеха, но и с учетом экономических факторов путем сопоставления показателей ремонта детали различными способами.

Оптимальным может быть такой способ восстановления детали, при котором обеспечивается максимальный срок ее службы при приемлемых затратах. Критерием выбора оптимального способа восстановления детали является показатель эффективности восстановления  $B$ :

$$B = \frac{C}{T\Pi}$$

где  $C$  — затраты на ремонт;  
 $T$  — срок службы детали после  
 ремонта;  $P$  — количество воз-  
 можных операций восстано-  
 вления детали.

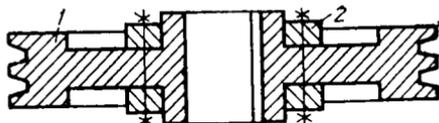


Рис. 3.1. Ремонт шкива:  
 1 — шкив; 2 — кольцо.

Возможны следующие спо-  
 собы устранения поврежден-  
 ных детали. Повреждения целост-

ности деталей исправляются с помощью сварки и накладок. Гео-  
 метрическая форма и размеры деталей восстанавливаются с по-  
 мощью наплавки, металлизации, электролитического наращивания  
 металла, а также методом пластических деформаций и правкой.

На рис. 3.1 в качестве примера показан способ ремонта шкива  
 с применением накладок. В крупном шкиве при разрыве ступицы  
 для сохранения работоспособности шкива осуществляется напрес-  
 совка двух колец с последующим скреплением их между собой.

### 3.1. СВАРКА

Сваркой устраняются повреждения целостности деталей. Валы  
 при ремонте обычно изготавливаются заново. В исключительных  
 случаях используется сварка частей поломанного вала одним из  
 способов, приведенных на рис. 3.2. Отломившаяся часть вала мо-  
 жет вытачиваться заново.

Станины и корпусные детали машин изготавливаются мето-  
 дом литья на специализированных машиностроительных заводах.  
 Выход из строя станин и корпусных деталей связан с длительной  
 остановкой оборудования, наносит большой экономический ущерб  
 предприятию. Поэтому ремонт таких тяжеловесных деталей, вы-  
 полняемый обычно методами сварки, приобретает важное значе-  
 ние. Ремонт корпусных деталей — длительная и ответственная  
 операция. Основные сложности связаны с демонтажем деталей,  
 необходимостью их прогрева, сохранения основных размеров де-  
 тали и обеспечения прочности отремонтированной детали.

Для ремонтных целей применяются разнообразные способы  
 сварки: дуговая ручная; электрошлаковая; автоматическая и по-  
 луавтоматическая в углекислом газе (двуокиси углерода) и под  
 флюсом; ацетилено-кислородная и другие.

Дуговая сварка наиболее широко используется при ремонте,  
 так как позволяет выполнять работы при любом положении шва.  
 Большой ассортимент выпускаемых промышленностью электродов  
 обеспечивает возможность подбора металла шва по механическим  
 свойствам и химическому составу, близким к основному металлу.

Для сварки легированных сталей следует применять элект-  
 роды, имеющие несколько большую степень легирования, чем  
 у свариваемого металла детали, так как часть легирующих доба-  
 вок при сварке окисляется. Для повышения устойчивости горения

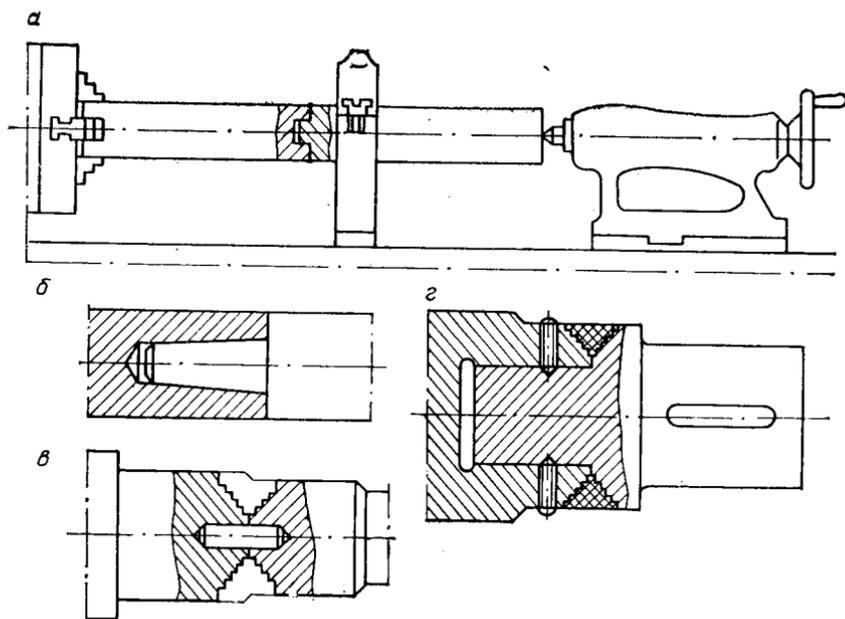


Рис. 3.2. Ремонт поломанных валов:

а — выверка частей вала; б—г — способы подготовки частей вала к сварке.

дуги электроды покрываются меловой обмазкой. Меловая обмазка повышает устойчивость дуги, но не защищает металл от воздействия воздуха. Электродные покрытия содержат органические вещества, которые, сгорая, образуют  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , вытесняющие воздух из области дуги, и, таким образом, защищают металл от окисления. Электродные обмазки включают и шлакообразующие материалы (мрамор, полевой шпат, каолин); получаемый жидкий шлак в процессе сварки тоже изолирует поверхность металла от воздуха. Кроме этого, в электродные покрытия входят раскисляющие вещества (графит, алюминий, ферросплавы), которые, соединяясь с окислами, образуют легкоплавкие шлаки.

При подготовке к сварке стальных деталей проводится разделка кромок до полного удаления трещины. Разделка выполняется механическим способом (рубка, фрезерование, проточка), газовой резкой и выплавкой электрической дугой. Когда объем удаляемого металла велик, целесообразно на дефектный участок сварить вставку из металла, близкого по составу к основному.

При ручной дуговой сварке не требуется сложного сварочного оборудования, ее можно выполнять в различных производственных условиях как на месте установки ремонтируемого оборудования, так и в ремонтном цехе. Сварка стальных изделий большой толщины ( $\geq 50$  мм) из стали, содержащей  $> 0,23\%$  С, осуществляется с общим или местным подогревом до  $250\text{—}350^\circ\text{C}$ . Нагрев может быть индукционным, в электрических печах и горнах,

многослойными горелками. Если по условиям технологии необходимо общая термообработка изделия после сварки, то более удобно выполнять работы в специальных электропечах. Печь должна быть построена так, чтобы место, где проводится сварка, было доступно для работы и надежно изолировано от общего объема печи. При сварке деталей значительной толщины применяются электроды диаметром 5; 6 и 8 мм. При отсутствии электродов большого диаметра рекомендуется соединять электроды в пучки — по два, три и четыре. В этом случае сварка осуществляется от источников постоянного тока при обратной полярности.

Для уменьшения внутренних напряжений и короблений при сварке стальных изделий большой толщины применяются следующие способы.

1. Наложение многослойных швов «каскадом» или «горкой». Сварку начинают с нижней части разделки и постепенно заполняют металлом все сечение. При таком способе сечение шва заполняется полностью, заваренный участок приобретает необходимую прочность и опасность появления трещин при сварке существенно уменьшается.

2. Применение двусторонней разделки кромок, если сварка выполняется при вертикальном положении шва. При этом сварку «горкой» нужно выполнять одновременно с двух сторон. Такой способ обеспечивает равномерную усадку и почти полное отсутствие короблений.

3. Выполнение сварки за один тепловой цикл, до полного окончания всех операций по сварке.

Для усиления мест сварки стальных деталей могут использоваться накладки, толщина которых не должна превышать толщину детали.

Дефекты корпусов стальных аппаратов проявляются в образовании выпучин и трещин. Выпучины возникают при перегреве корпуса в результате обрушения футеровки или снижения уровня хладагента. Трещины образуются под воздействием напряжений при сопутствующем влиянии коррозии. Выпучины вырезаются, а затем ввариваются заплаты. Трещины необходимо заварить. При расхождении кромок трещины более 15 мм устанавливается заплата. Во избежание термического влияния сварки двух продольных швов ширина заплаты должна быть не менее 250 мм. Листы, предназначенные для изготовления заплат, загибаются по радиусу, равному радиусу кривизны корпуса. После этого по шаблону, снятому с места выреза, изготавливается заплата.

При заварке дефектов корпуса аппаратов из двухслойных сталей сначала осуществляется разделка кромок и заварка основного слоя, а затем плакирующего. Однако при ремонте не всегда имеется возможность проведения сварки с внутренней стороны аппарата, т. е. со стороны плакирующего слоя. В этом случае после разделки кромок сварка обоих слоев ведется с наружной стороны аппарата. На рис. 3.3 показана разделка кромок и

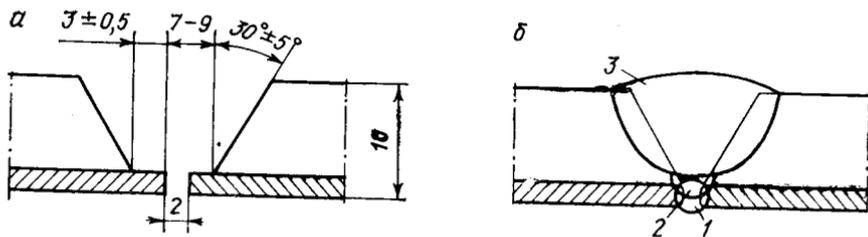


Рис. 3.3. Разделка кромок (а) и нанесение сварочных слоев (б) при сварке двухслойных сталей:

1 — плакирующий слой; 2 — разделительный слой; 3 — основной слой.

последовательность нанесения сварочных слоев. Плакирующий слой наносится в среде аргона первым. Затем в этой же среде наносится разделительный шов с использованием в качестве присадки армо-железа (режим должен обеспечивать минимальное проплавление плакирующего слоя). В последнюю очередь наносится основной слой. При этом электроды должны соответствовать марке свариваемого металла. Для сварки тонкостенных изделий (баки, кожухи и т. д.) применяется ацетилено-кислородная сварка. В качестве присадочного металла при газовой сварке используется стальная проволока.

**Автоматическая сварка под слоем флюса.** Сущность этого способа заключается в том, что электрическая дуга горит под расплавленным флюсом. Флюс предотвращает разбрызгивание металла, защищает металл от кислорода воздуха, обеспечивает формирование нормального сварного шва. Электродная проволока подается из кассеты автоматической головкой. Использование флюса позволяет применять электродную проволоку без покрытия. Часть флюса во время наплавки расплавляется и превращается в шлаковую корку, которая удаляется ударами молотка. Нерасплавившаяся часть флюса используется повторно. Автоматическая сварка под слоем флюса применяется в основном для сварки цилиндрических деталей (узлы трубопроводов, корпуса аппаратов) при вращении свариваемых элементов с помощью вращателя или манипулятора. Диаметр труб должен быть не менее 200 мм. При меньшем диаметре используются сварочные полуавтоматы. Сварка производится не менее чем в два слоя. Режимы сварки в каждом случае устанавливаются на пробных образцах. При наложении многослойных швов после наложения каждого валика удаляется шлак и путем внешнего осмотра проверяется качество шва на отсутствие трещин и пор. Дефектные места должны быть полностью удалены, а вырубленные участки вновь заварены.

**Сварка в среде углекислого газа.** При этом способе сварки сварочная дуга и расплавленный металл защищаются от вредного влияния воздуха струей углекислого газа, подаваемого в зону сварки. Углекислый газ тяжелее воздуха в 1,5 раза и оттесняет его от зоны сварки. Электродная проволока из кассеты непрерывно подается в зону сварки с заданной скоростью. Подвод тока

к проволоке осуществляется с помощью мундштука и наконечника. Наконечник располагается внутри газовой горелки, подающей защитный газ в зону сварки.

Автоматическая сварка в среде углекислого газа позволяет механизировать процесс нанесения покрытий на детали со сложными профилями изнашиваемых поверхностей, а также восстанавливать цилиндрические поверхности деталей малых диаметров (менее 45 мм). Этим способом можно восстанавливать также шлицевые поверхности валов, отверстия в корпусных деталях и т. д.

Сварка и наплавка в среде углекислого газа имеет ряд преимуществ перед другими методами: 1) надежная защита сварочной ванны от окисления кислородом окружающего воздуха; 2) отсутствие флюса при сварке, усложняющего этот процесс; 3) высокая производительность; 4) простота процесса и возможность его механизации.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа используется не только при ремонте, но и при изготовлении новой аппаратуры. Полуавтоматическая сварка плавящим электродом применяется для сварки углеродистых, низко- и высоколегированных сталей. Тонкая сварочная проволока (0,8—1,2 мм) используется для сварки стыковых соединений с толщиной листа 1—4 мм, а проволока диаметром 1,6—2,0 мм — для сварки металла толщиной более 4 мм. Сварка проводится постоянным током обратной полярности, которая характеризуется большей устойчивостью дуги, меньшей склонностью шва к порообразованию, малым разбрызгиванием, пониженным выгоранием углерода, улучшением чистоты наплавленного слоя.

Наряду со сваркой в углекислом газе при ремонте используется аргонодуговая сварка. Аргон химически более инертен, чем углекислый газ, и в ряде случаев лучше защищает металл в сварочной ванне от окисления. Аргонодуговая сварка обеспечивает более высокое качество сварных соединений нержавеющей сталей и применяется для наиболее ответственных сварных швов. Материалы толщиной до 2—3 мм целесообразно сваривать неплавящимся вольфрамовым электродом. При толщине металла свыше 2—3 мм сварка осуществляется плавящимся электродом.

При сварке ответственных трубопроводов защита корня шва от окисления осуществляется поддувом аргона с обратной стороны шва. С целью экономии аргона на участке трубопровода в зоне стыка ставятся заглушки.

Цель сварки корневого слоя — обеспечение полного провара корня шва с хорошим формированием его внутренней стороны.

Аргонодуговая сварка труб с трубными решетками позволяет получать плотные, качественные швы. Отверстия трубных решеток после сверловки раззенковываются под углом  $60^\circ$  на глубину 2 мм. Концы трубок выступают из трубной решетки на 1,5—2,0 мм. При сварке они оплавляются и заполняют разделку. Недостатком аргонодуговой сварки является то, что аргон дороже  $\text{CO}_2$ .

Если при сварке переменным током на электродах выделяется примерно одинаковое количество теплоты, то при сварке постоянным током на положительном электроде выделяется большее количество теплоты, чем на отрицательном электроде. Поэтому процесс сварки можно регулировать, применяя ток прямой или обратной полярности. При сварке массивных деталей их соединяют с положительным полюсом (ток прямой полярности), что приводит к лучшему прогреву детали в процессе сварки, увеличению глубины плавления металла. При сварке тонколистовых деталей их соединяют с отрицательным полюсом (ток обратной полярности), что позволяет избежать перегрева и прожога листа.

**Сварка чугуна.** Корпусные детали машин часто отливаются из чугуна. Сварка чугуна затруднительна вследствие большого содержания углерода, низкой пластичности и прочности чугуна, высокой чувствительности к нагреву. Чугунные детали можно сваривать холодным и горячим способами.

Холодная сварка чугуна осуществляется без предварительного подогрева свариваемой детали. В этом случае быстрое охлаждение сварного шва приводит к отбеливанию чугуна и образованию хрупкой прослойки между основным металлом и металлом шва. Из-за различия коэффициентов линейного удлинения серого и белого (отбеленного) чугуна появляются трещины. Несмотря на этот недостаток, холодную сварку чугуна приходится применять для тех корпусных деталей и станин, нагрев которых затруднителен. Для исключения отбеливания чугуна используются специальные электроды.

Подготовка чугунной детали к сварке проводится вырубкой, фрезерованием, сверлением до чистого металла. Использование сварочной дуги и сварочных горелок **недопустимо!** Способы разделки показаны на рис. 3.4. Для усиления сварного шва в толсто-стенных деталях на краях канавок устанавливаются ввертыши.

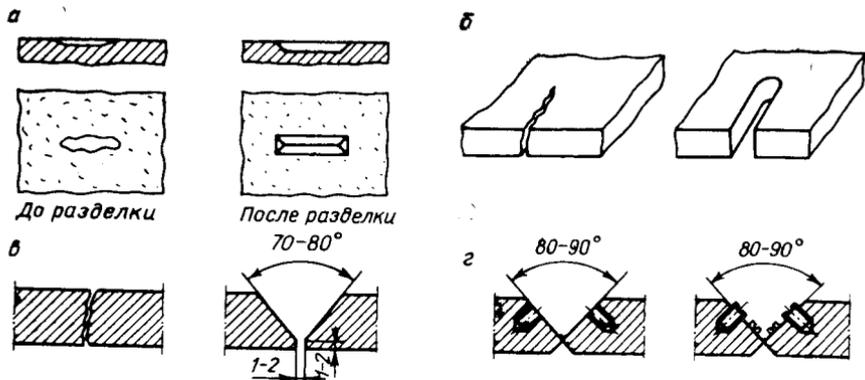


Рис. 3.4. Подготовка дефекта к сварке:

а — трещина в середине детали; б — трещина на краю детали; в — разделка кромок для сварки; г — установка ввертышей.

Дуговая сварка выполняется с применением: 1) обычных стальных электродов; 2) медносталльных электродов; 3) железоникелевых электродов; 4) медноникелевых электродов. Чугунные электроды при холодной сварке чугуна не используются, так как в сварочном шве при этом образуется цементит и возникают трещины. При сварке чугуна стальными электродами металл в зоне сварки закаливается и отбеливается.

Медносталльные электроды применяются для холодной сварки в том случае, когда от сварного шва требуются высокие показатели прочности, а обрабатываемость наплавленного металла и его отличительный цвет не имеют существенного значения.

Наплавленный металл представляет собой медносталльный сплав и содержит 90% меди и 10% стали.

Прочностные показатели сварного соединения на 10—15% ниже, чем у основного металла (ослабление происходит в зоне термического влияния). Наплавленный металл обладает характерным красным оттенком. В зоне сплавления имеются прерывистые отбеленные участки, создающие определенные трудности при механической обработке.

Сварка осуществляется валиками в один или несколько проходов. При плавлении медносталльного электрода и сплавлении его с основным металлом сплав в зоне шва приобретает высокие прочностные показатели, сохраняя при этом присущие меди вязкость и пластичность. Благодаря этому металл шва может пластически деформироваться под воздействием сварочных напряжений и противостоять образованию трещин. Медносталльные электроды изготавливаются нанесением на медную проволоку слоя специального покрытия, в состав которого входит необходимое количество железного порошка. Из таких электродов, выпускаемых промышленностью, наиболее известна марка ОВЧ-2.

Медноникелевые электроды, основным представителем которых являются электроды марки МНЧ-2, применяются для холодной дуговой сварки чугуна в тех случаях, когда от сварного шва требуется хорошая обрабатываемость и плотность. Наплавленный металл, имеющий медноникелевую основу, легко поддается обработке резанием. Диаметр электродов, выпускаемых для холодной дуговой сварки чугуна, 3—6 мм.

Газовая сварка чугуна осуществляется: 1) чугуном присадочным стержнем без расплавления основного металла с применением флюса и нагревом свариваемых кромок детали до 700 °С; 2) латунной присадочной проволокой с применением флюса и нагревом кромок до 700 °С; 3) цинковым припоем с применением флюса и нагревом кромок до 350 °С. Сварка с подогревом кромок свариваемых элементов называется полугорячей.

Горячую сварку чугуна выполняют после предварительного подогрева всей свариваемой детали. Предварительный подогрев снижает напряжение детали и, таким образом, позволяет исключить образование трещин в сварном шве. При горячей сварке

чугуна наплавленный слой по механическим показателям практически соответствует металлу детали.

Температура предварительного нагрева определяется размерами детали, толщиной стенок, объемом наплавляемого металла и структурой чугуна. Для большинства деталей нагрев до 400—450 °С обеспечивает получение хорошо обрабатываемого сварного соединения и создает условия, исключающие образование трещин. При сварке деталей сложной формы температура подогрева должна быть доведена до 500—700 °С. Превышать указанную температуру не следует, так как это может вызвать рост зерна металла, потерю механической прочности и снизить дальнейшую работоспособность изделия. Способы нагрева определяются условиями производства. Для изделий небольших размеров и веса удобно использовать печи конвейерного типа; применяют также газовые индукционные и электрические печи. При отсутствии печей нагрев некоторых изделий можно проводить в горнах.

Для ацетилено-кислородной сварки присадочным материалом служат чугунные прутки.

В качестве флюса применяют техническую безводную буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ). Для обезвоживания кристаллическую буру расплавляют. После остывания ее растирают в мелкий порошок и перед сваркой наносят на присадочный пруток и свариваемую поверхность, нагретую до 400—450 °С. Кроме 100%-ной буры при ацетилено-кислородной сварке чугуна используются следующие флюсы: 1) смесь буры (56%), углекислого калия (22%) и углекислого натрия (22%); 2) смесь буры (23%), углекислого натрия (27%) и азотнокислого натрия (50%).

Электродуговая горячая сварка чугуна осуществляется чугунными электродами с защитным покрытием. Температура предварительного нагрева детали 350—450 °С. Для деталей сложной формы температура нагрева должна быть увеличена до 600 °С.

Предварительно в местах сварки формуют ванночки, которые должны надежно удерживать жидкий расплавленный металл. Используются формовочные смеси следующего состава: 40% кварцевого песка, 30% формовочной отработанной смеси, 30% белой глины. При большом объеме наплавляемого металла предусматривается армирование ванны проволокой и разбивка шва на отдельные участки, разделенные формовочным металлом или графитовыми вставками. Заформованную деталь сушат до полного удаления влаги, после чего полученная форма проверяется на плотность сцепления с деталью и отсутствие трещин. По окончании горячей сварки деталь охлаждается вместе с печью или накрывается асбестом для равномерного и медленного остывания.

**Сварка алюминиевых сплавов.** Такая сварка осуществляется аргонодуговым способом неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочной проволокой того же состава, что и свариваемый материал.

При сварке алюминиевых сплавов образуются тугоплавкие окислы. Температура плавления алюминия  $657^{\circ}\text{C}$ , а его окисла ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  $2050^{\circ}\text{C}$ . В сварных соединениях возникают значительные внутренние напряжения вследствие большой усадки алюминия, а также различия коэффициентов линейного расширения структурных составляющих сплава. Несмотря на эти трудности при заварке трещин и установке заплат удается получить качественные сварные швы при использовании аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, электродуговой сварки плавящимся электродом или сварки ацетилено-кислородным пламенем газовой горелки.

Аргонодуговая сварка основана на использовании теплоты электрической дуги, возникающей в среде аргона между неплавящимся вольфрамовым электродом и деталью. Присадочным материалом служат алюминиевая проволока или стержни из алюминиевых сплавов. Перед сваркой проводится разделка кромок трещины; засверливание трещины по концам не требуется.

Электродуговая сварка плавящимся электродом осуществляется с использованием в качестве электрода стержней из алюминиевых сплавов диаметром 4—6 мм с покрытиями, содержащими хлористые и фтористые соединения.

При сварке ацетилено-кислородным пламенем газовой горелки присадочным материалом служат стержни того же состава, что и металл восстанавливаемой детали, или стержни из алюминия (сплав, содержащий 85,5—88% алюминия, 7—9% меди, 5,0—5,5% кремния). Для защиты наплавленного металла от окисления используются в виде порошка или пасты флюсы, содержащие хлористые соединения калия, лития, натрия, бария, а также фтористый натрий, плавиковый шпат и криолит.

Газовая сварка применяется при восстановлении поврежденных тонкостенных конструкций при толщине стенки не более 3—4 мм.

## 3.2. НАПЛАВКА

Наплавка — наиболее доступный и распространенный способ восстановления деталей. Процесс восстановления детали складывается из наплавки, отжига и механической обработки ее на номинальный размер.

Наплавка позволяет нарастить на изношенной поверхности достаточный слой металла, обладающий не меньшей прочностью, чем металл восстанавливаемой детали. Наплавка может проводиться на цилиндрических, плоских и фасонных поверхностях. Износостойкость наплавленного слоя может быть выше износостойкости металла детали, если электроды или присадочные прутки изготовлены из твердых сплавов. Значительная толщина наплавленного слоя достигается многослойной наплавкой.

Недостаток наплавки — коробление деталей из-за напряжений, возникающих вследствие местного нагрева детали. Для

устранения коробления проводят: 1) подогрев наплавляемой детали до температуры 100—400 °С; 2) наложение сварочных валиков обратноступенчатым швом на цилиндрической детали или вразброс небольшими участками на плоской детали; 3) термообработку после наплавки.

Метод восстановления деталей наплавкой применяется для стальных, чугунных, бронзовых, свинцовых деталей, а также для баббитовых вкладышей подшипников скольжения. Наплавка деталей из цветных металлов представляет большие трудности, поскольку эти металлы интенсивно окисляются. Однако при использовании защитной среды (флюсы, инертные газы) возможна наплавка деталей и из цветных металлов. Например, алюминиевые детали наплавляют электродуговым способом и газовой сваркой при использовании в качестве присадочного материала стержней того же состава, что и металл наплавляемой детали. Алюминиевые поршни компрессоров наплавляют алюминием с применением ручной аргонодуговой сварки.

Для предупреждения образования трещин в наплавленном слое осуществляется подогрев детали с помощью газовой горелки до температуры 250—280 °С. Для предупреждения образования пор порошковая проволока перед наплавкой прокаливается 1,5—2 ч при температуре 200—250 °С.

Наплавка тел вращения производится отдельными валиками вдоль образующей или круговыми валиками. Для уменьшения коробления детали наплавляемые валики накладываются последовательно на диаметрально противоположных сторонах детали. При автоматическом способе наплавка ведется по винтовой линии с перекрытием последующим валиком предыдущего на  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$  его ширины.

Наплавка под слоем флюса осуществляется стальной проволокой под плавленным флюсом, стальной проволокой под керамическим флюсом, порошковой проволокой под плавленным флюсом, многоэлектродной проволокой или ленточным электродом.

При наплавке под слоем флюса электрическая дуга образуется в замкнутом пространстве, образуемом металлом и флюсом.

Защита шва от окисления позволяет устранить выгорание легирующих элементов. Расплавленный металл под слоем флюса остается длительное время в жидком состоянии. Это способствует выделению газов и удалению шлака из расплава. Металл, наплавляемый под флюсом, получается более однородным и плотным, с низким содержанием кислорода. Этот вид наплавки применим для деталей диаметром более 50 мм, получающих при эксплуатации большой износ. Толщина слоя наплавляемого металла является практически неограниченной.

Плавленные флюсы представляют собой силикаты сложного состава и получают сплавлением компонентов шихты в печах.

Легирование наплавляемого слоя возможно за счет использования легированной электродной проволоки или легированного

флюса либо одновременно легированных проволоки и флюса. Высокая стоимость легированной электродной проволоки заставляет использовать легирующие керамические флюсы в паре с углеродистой наплавочной проволокой.

Керамические флюсы представляют собой смесь размельченных легирующих, раскисляющих, модифицирующих и шлакообразующих компонентов, сцементированных раствором жидкого стекла. В состав керамических флюсов могут входить любые вещества независимо от их взаимной растворимости. Наплавленный металл легируется за счет перехода легирующих веществ из флюса в ванну расплавленного металла.

Ленточные электроды изготавливают из стальной ленты (X18H10T, 65Г, 1X13 и т. д.) толщиной 0,4—1,0 мм и шириной 20—100 мм. Порошковая лента состоит из двух стальных лент (одна из которых выполнена гофрированной с отдельными ячейками, а вторая — плоской) и шихты, заполняющей ячейки.

Наплавка тонкостенных втулок затруднена тем, что после первого валика основной металл нагревается до высокой температуры, в результате чего наплавляемый металл и шлак медленно застывают. Наплавка таких деталей проводится с интенсивным охлаждением их воздухом или проточной водой.

Цилиндрические детали наплавляются на переоборудованных токарных станках, специальных манипуляторах или приспособлениях. На этих же устройствах наплавляются конические детали при использовании приспособлений для наклона детали под таким углом, чтобы образующая конуса располагалась горизонтально или под углом к горизонту не более  $20^\circ$ .

На рис. 3.5 представлена установка для автоматической наплавки крупных роторов (червяк червячной машины, трансмиссионный вал, ротор резиносмесителя), состоящая из манипулятора, автоматической сварочной головки и рамы. Манипулятор представляет собой устройство на базе токарного станка, имеющее

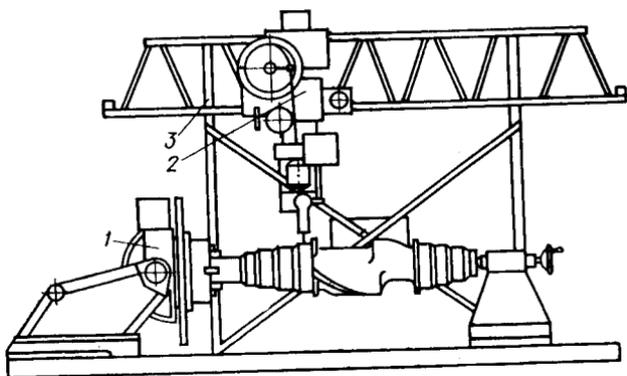


Рис. 3.5. Установка для наплавки крупных роторов:  
1 — манипулятор-вращатель; 2 — сварочная головка; 3 — рама.

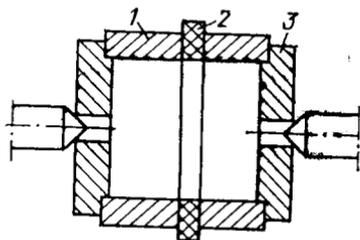


Рис. 3.6. Приспособление для наплавки колец:

1 — кольцо; 2 — прокладка; 3 — диск.

основание, вращатель с трехкулачковым патроном и передвижную заднюю бабку с вращающимся центром. Сварочная головка перемещается вдоль детали по специальным направляющим рамы.

Наплавка шеек роторов для восстановления размеров и частичного упрочнения поверхности осуществляется самозащитной порошковой проволокой на постоянном токе.

Отверстия и шпоночные канавки перед наплавкой заглушаются с помощью медных, асбестовых или графитовых вставок, а также пластичных смазок. Например, при наплавке порошковой проволокой шеек коленчатого вала смазочные отверстия шеек заглушаются графитной пастой (85% графита и 15% жидкого стекла).

Износ шнеков происходит в основном по наружному диаметру витков шнека. При ремонте шнеки протачиваются по наружному диаметру, по гребню шнека осуществляется наплавка твердого сплава или приварка металлического прутка из стали соответствующей марки и последующая проточка до необходимого диаметра.

Наплавка наружной поверхности втулок и колец проводится с использованием двух центрирующих дисков (рис. 3.6), позволяющих устанавливать наплавляемые детали по оси наплавочной установки. При одновременной наплавке нескольких колец между ними устанавливаются асбестовые прокладки с тем, чтобы кольца не сваривались между собой.

При наплавке цилиндрических деталей для того, чтобы расплавленный металл не стекал с поверхности детали, электродная проволока располагается с некоторым эксцентриситетом  $a$  от вертикальной оси в сторону, противоположную направлению вращения. Величина эксцентриситета зависит от диаметра детали  $d$ :

$d$ , мм	40—70	70—100	100—150	150—200	200
$a$ , мм	3—8	8—15	15—20	20—30	30—40

Для защиты расплавленного металла от окисления при наплавке используются флюсы. Некоторые флюсы, обладающие химическим действием, образуют с окислами металлов легкоплавкие соединения меньшей плотности, чем расплавленный металл, и за счет этого всплывают на поверхность в виде шлака. К этой группе флюсов относятся следующие составы: 1) бура — 50%, борная кислота — 50%; 2) бура — 50%, двууглекислый натрий — 47%, кремнезем — 3%; 3) бура — 100%.

Некоторые флюсы, обладающие физическим действием, растворяют окислы металлов и также всплывают на поверхность в виде

шлака. К данной группе флюсов относятся следующие составы: 1) хлористый натрий — 45%, хлористый калий — 30%, хлористый литий — 10%, фтористый калий — 15%; 2) хлористый натрий — 41%, хлористый калий — 51%, фтористый натрий — 8%.

Для наплавки деталей из мало- и среднеуглеродистых сталей применяется сварочная проволока марок Св-08 (0,08% углерода), Св-08А, Св-08Г. Для наплавки деталей из качественных легированных сталей применяется сварочная проволока, содержащая легирующие добавки.

Наплавка порошкообразных смесей осуществляется постоянным или переменным током при помощи угольных или графитовых электродов. Перед наплавлением смесь насыпают на поверхность детали слоем 3—5 мм. На цилиндрическую поверхность наносят ее в виде пасты, приготовленной на водном растворе жидкого стекла. Порошкообразные смеси используются также в качестве заполнителей трубчатых электродов и как обмазка стержневых электродов.

Стержневые электроды для наплавки твердых сплавов на изношенные детали обычно изготавливаются из сварочной проволоки марки Св-08А. Легирующие элементы вводятся в состав обмазки.

Наибольшее распространение получили следующие стержневые электроды.

1. Электроды Т-500. В состав обмазки входят (по массе): феррохром — 90%; карбид бора — 5%; графит серебристый — 5%; жидкое стекло — 28—30% к общей массе сухих компонентов. Применяются для наплавки чугуновых и стальных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания без ударной нагрузки (шнеки, лопасти мешалок и т. д.).

2. Электроды Т-600. Состав обмазки (по массе): феррохром — 75%; ферротитан — 15%; графит серебристый — 5%; карбид — 5%; жидкое стекло — 28—30% к общей массе сухих компонентов. Рекомендуются для наплавки стальных и чугунных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания и умеренных ударных нагрузок.

3. Электроды Т-540. Состав обмазки (по массе): феррохром — 40%; ферротитан — 45%; графит серебристый — 5%; мел технический — 10%; жидкое стекло — 28—30% к общей массе компонентов. Используются для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания и ударной нагрузки.

Наплавленный слой имеет большую волнистость (чередование выступов и впадин, образованных наплавленными валиками). Из-за волнистости припуск на шлифовку оказывается большим, что требует повышенного расхода дефицитных шлифовальных кругов. Для уменьшения трудоемкости обработки износоустойчивых наплавов может применяться наплавка с одновременным фрезерованием и пластическим деформированием накатным роликом горячего металла. Вдоль детали наплавочная головка, фреза и ролик перемещаются с одинаковой скоростью. Наплавленный

металл при вращении детали обжимается накатным роликом и фрезеруется торцевой фрезой. Такая обработка уменьшает припуск на шлифование и исключает последующую термическую обработку. Литые сплавы наплавляют ацетилено-кислородным пламенем или сварочной дугой вольфрамовым электродом в среде аргона. Для предупреждения дефектов при ручной электродуговой наплавке осуществляется подогрев детали в специальных электрических печах до температуры 700—800 °С. При дуговой наплавке электродами из-за большого проплавления основного металла заданные свойства и состав сплава достигаются только в третьем и последующих слоях. Наплавка ацетилено-кислородным пламенем твердых сплавов исключает разбавление наплавленного металла основным. Плазменная наплавка также дает меньшее проплавление основного металла, чем дуговая. Наплавка проводится не менее чем в три слоя. Во избежание большого перемешивания твердого сплава со сталью детали первый слой наплавляется при пониженной силе тока. Наплавку выполняют на постоянном токе обратной полярности. После окончания наплавки деталь помещают в печь для осуществления отжига при температуре 850 °С с последующим медленным охлаждением.

Кроме ручной широкое распространение получили способы механизированной и автоматической наплавки. Автоматическая наплавка является непрерывным процессом, требует применения станков или специальных приспособлений. Например, наплавка тел вращения проводится на токарном станке, в шпинделе которого устанавливается наплавляемая деталь, а на суппорте станка крепится устройство для автоматической подачи электродной проволоки.

Дефекты наплавки проявляются в пористости наплавленного слоя в результате выделения газов из жидкого металла при кристаллизации ванны. Газы образуются при наличии в зоне дуги влаги, воздуха, масла, ржавчины. Уменьшение пористости достигается понижением скорости наплавки, повышением температуры детали (т. е. увеличением силы тока), использованием постоянного тока обратной полярности, применением раскислителей (Ti, Al, Si, Mn). Трещины могут образовываться при кристаллизации металла, т. е. при температуре 1000—1500 °С (горячие трещины) и при охлаждении детали до 200 °С и ниже (холодные трещины). Причиной образования горячих трещин является большое содержание в наплавленном металле серы, а снижение вредного влияния серы достигается введением марганца.

**Вибродуговая наплавка.** Сущность этого способа состоит в следующем. Между наплавляемой деталью и вибрирующей электродной проволокой, подаваемой к месту наплавки, периодически возбуждается дуга. За счет дуги происходит оплавление концы электрода и поверхности детали, на которой образуется ванночка расплавленного металла. К месту наплавки непрерывно подается охлаждающая жидкость, и наплавленный металл охлаж-

дается с большой скоростью. При соответствующей частоте вращения детали на ее поверхности образуется наплавленный валик, ширина которого в два раза больше диаметра электрода. Расположенные рядом и сплавленные между собой валики образуют сплошной слой. При наплавке высокоуглеродистыми проволоками за счет резкого охлаждения обеспечивается высокая твердость и износостойкость наплавленного слоя.

Вибрация электродной проволоки осуществляется с помощью механического или электромагнитного вибратора с частотой 50—100 Гц. В качестве охлаждающей жидкости применяются следующие водные растворы: 1) 20—30% глицерина, 2) 6% кальцинированной соды; 3) 4—5% глицерина и 3—4% кальцинированной соды; 4) 0,5% глицерина, 5% кальцинированной соды и 1% хозяйственного мыла. Жидкостная среда способствует быстрому формированию наплаваемого валика и защищает расплавленный металл от кислорода воздуха.

Вибродуговая наплавка обеспечивает получение наплавленных слоев толщиной 0,1—3,0 мм. При такой наплавке деталь прогревается на глубину, равную примерно толщине наплаваемого слоя, поэтому практически не наблюдается коробления деталей и значительного нарушения свойств термообработанного слоя.

Для улучшения стабильности процесса наплавки в электрическую схему установки обязательно вводится индуктивность (дрессель). Полярность тока устанавливается обратной.

Вибродуговую наплавку можно применять при восстановлении деталей из незакаленных и закаленных сталей, а также из низколегированных цементированных сталей. Этим способом можно: 1) наплавливать детали цилиндрической формы диаметром от 15 мм и выше; 2) наращивать металл в изношенных отверстиях, подвижных и неподвижных соединениях; 3) восстанавливать поверхности под обоймы шариковых и роликовых подшипников, шейки валов, работающие в подшипниках скольжения и не испытывающие ударной нагрузки, шейки в местах пресовых посадок и т. д. Вибродуговая наплавка нежелательна для профильных поверхностей в виде резьб, мелких шлиц и т. п. Наплавку можно проводить также под слоем флюса и в среде защитного газа.

Преимущества способа: простота, высокая производительность и экономичность; возможность наплавливать детали малых диаметров; незначительные деформации деталей благодаря вибрации электрода; достижение высокой твердости наплавки без последующей термической обработки. Основные недостатки: снижение усталостной прочности восстанавливаемых деталей и сложность последующей обработки. Вследствие большой газонасыщенности наплавленного металла исключена возможность повторной наплавки другими способами без предварительного полного удаления покрытия, полученного вибродуговым способом. Процесс наплавки в жидкости проходит с закалкой образующегося слоя, поэтому обработка наплавленной детали возможна только

шлифованием. Вибронаплавка применима для восстановления только наружных цилиндрических поверхностей, а не внутренних.

**Плазменная наплавка.** Плазма представляет собой высокотемпературный сильно ионизированный газ. Она создается возбуждаемым между двумя электродами дуговым разрядом, через который пропускается газ в узком канале. Присадочный материал может подаваться в виде проволоки, ленты или порошка. При наплавке по слою крупнозернистого порошка последний заранее насыпается на наплавляемую поверхность, а плазменная дуга, горящая между электродом и изделием, расплавляет его. При наплавке с вдуванием порошка в дугу порошок подается в плазменную струю, плавится в струе и наносится на предварительно подогретую поверхность изделия. В качестве плазмообразующего газа используется аргон. Плазменная наплавка позволяет значительно повысить износостойкость деталей. Объясняется это минимальным проплавлением основного металла в процессе наплавки порошковых сплавов, что обеспечивает получение необходимых свойств наплавки уже в первом слое.

### 3.3. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Металлизацией называется процесс нанесения расплавленного металла на поверхность изделий при помощи сжатого воздуха. Металл, расплавленный в специальном устройстве — металлизаторе, распыляется сжатым воздухом на частицы размером в несколько микрон и в таком виде наносится на поверхность восстанавливаемой детали. Напыление осуществляют послойно, в результате чего металлизацией удается получать покрытия толщиной до 10 мм.

Прочность сцепления напыленного слоя с деталью достигается молекулярно-механическим взаимодействием слоев металла и составляет 10—25 МПа. Эта прочность оказывается гораздо ниже, чем при наплавке, при которой происходит расплавление не только наплавляемого металла, но и металла поверхностных слоев детали. Для повышения прочности сцепления при металлизации поверхность детали обрабатывается так, чтобы получался шероховатый профиль. Напыленный слой имеет пористость 10—15%, что способствует задержанию смазки в порах, и обладает большей твердостью, чем исходный материал электрода. Увеличение твердости объясняется наклепом частиц металла при ударе их о поверхность детали. Кроме того, при использовании для напыления проволоки из высокоуглеродистой стали увеличивается износостойкость металлизированного слоя. Давление сжатого воздуха должно составлять 0,5—0,6 МПа.

Подготовка поверхности детали при металлизации заключается в обезжиривании ее растворами каустической и кальцинированной соды и в обработке нанесением рваной резьбы. Для

деталей, обладающих высокой твердостью, используется анодно-механическая, электромеханическая и электроискровая обработка.

Металлизаторы в зависимости от способа расплавления металла могут быть газопламенными и электрическими. Наиболее распространенными являются электрические металлизаторы, в которых между двумя электродами в распылительной головке образуется электрическая дуга и обеспечивается плавление электродов. Применяются электроды из углеродистой стали Св-08 и из нержавеющей сталей X18H10T, X18H10 (диаметр 1,2—2,5 мм).

После металлизации в напыленном слое содержится много окислов. Последующая обработка высокотвердого металлизированного слоя ведется резцами с твердосплавными пластинками.

Недостатки металлизации: низкая прочность сцепления покрытия с материалом детали и большая трудоемкость процесса. По этим причинам металлизация нашла лишь ограниченное применение и используется только для восстановления крупных деталей, работающих в условиях жидкостного трения и при небольших нагрузках.

Разновидностью металлизации является газопламенное порошковое нанесение слоя. Порошкообразный присадочный металл с размером частиц 0,07—0,15 мм из бачка, закрепленного на горелке, засасывается в горелку струей кислорода, подхватывается потоком газов и наносится на поверхность. Кроме того, возможна подача порошка непосредственно в факел пламени под действием силы тяжести. В пламени горелки порошок частично оплавляется до тестообразной массы и под действием динамического напора газов наносится на поверхность детали.

Механические свойства детали при напылении не изменяются, а сама деталь из-за небольшого количества подводимой теплоты не подвергается короблению. Источником теплоты для напыления является ацетилено-кислородное пламя, т. е. используется обычный сварочный пост для автогенной сварки.

#### 3.4. МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

К электролитическим методам покрытия деталей относятся осаждение сплавов, хромирование, железнение, никелирование, меднение, цинкование и т. д. Чаще при восстановлении деталей в ремонтной практике находят применение хромирование и железнение. Максимальная толщина покрытия при хромировании может достигать 0,2—0,3 мм, а при железнении — 2—3 мм. Объясняется это тем, что железо осаждается в 10—20 раз быстрее, чем хром.

**Хромирование** повышает износостойкость детали благодаря высокой твердости и износоустойчивости хрома. Хромированные

поверхности обладают также высокими антикоррозионными свойствами. Поверхности, покрытые железнением, имеют меньшую твердость. Слой покрытия, нанесенный при железнении, по физико-механическим свойствам примерно соответствует среднеуглеродистым сталям.

Процесс хромирования используется при восстановлении поверхностей деталей машин и механизмов благодаря ценным физико-механическим свойствам электролитически осажденного хрома: высокой твердости, износостойкости, низкого коэффициента трения, хорошего сцепления с основным металлом.

Недостатки способа хромирования: низкая скорость осаждения (24—50 мкм/ч) и плохая смачиваемость хрома маслами. Поэтому хромирование используется только при небольшой степени износа. В ремонтном производстве наибольшее применение находит электролит, содержащий 150 г/л хромового ангидрида, 1,5 г/л серной кислоты, а также электролит, состоящий из 250 г/л хромового ангидрида и 2,5 г/л серной кислоты.

Из электролита низкой концентрации можно получать покрытия большей твердости, чем из электролита высокой концентрации. Недостатком такого электролита является то, что в него надо часто добавлять хромовый ангидрид. Поэтому на ремонтных предприятиях более часто применяется электролит, содержащий 250 г/л хромового ангидрида.

Кроме хромовой и серной кислот в электролите в начале процесса присутствует некоторое количество трехвалентных ионов хрома (1,2—2,5 г/л), который затем образуется при восстановлении шестивалентных соединений хрома на катоде в процессе электролиза. В случае чрезмерного накопления трехвалентного хрома его окисляют проработкой электролита при пониженной анодной плотности тока. Вместо  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  используется краситель метиленовый голубой (концентрацией 2—5 г/л), который позволяет увеличить выход хрома по току и повысить качество покрытия.

Для хромирования деталей применяется также электролит, в 1 л которого содержится 250—350 г хромового ангидрида, 50—75 г карбоната кальция, 5—20 г гипса. В этом электролите автоматически поддерживается оптимальное соотношение трехоксида хрома и сульфат-ионов.

Твердость хромовых покрытий, как и твердость железа, зависит от условий осаждения. Припуск хрома на механическую обработку рекомендуется делать в пределах от 0,08 до 0,1 мм.

Перед хромированием детали шлифуются до выведения следов износа, а затем промываются в органических растворителях и протираются ветошью. В качестве растворителей можно использовать бензин, керосин, трихлорэтилен и т. д.

Промытые детали монтируются на подвеску и обезжириваются. Если необходимо обезжирить только отдельные места, а всю деталь нельзя погружать в раствор, применяется обезжиривание вручную, протиркой этих мест венской известью.

После этого необходимо провести изоляцию поверхностей, не подлежащих хромированию. Для изоляции можно использовать перхлорвиниловый лак, лак АК-20, целлулоид, винипласт, плексиглас, хлорвиниловые трубки, хлорвиниловую изоляционную ленту. После нанесения 2—3 слоев лака детали сушатся 2—3 ч при температуре 40—60 °С. После изоляции участки детали, подлежащие хромированию, очищаются от загрязнений лаком. Большие отверстия на поверхности закрываются свинцом, а малые заделываются заподлицо с хромируемой поверхностью. После изоляции поверхностей, не подлежащих хромированию, детали монтируются на подвеску.

Декапирование стальных деталей следует проводить в течение 30—90 с при плотности тока 25—40 А/дм<sup>2</sup>.

После анодного декапирования детали загружаются в ванну хромирования при выключенном токе и нагреваются в течение 5—6 мин. Затем дается полный ток в соответствии с режимом хромирования данной детали. Колебания температуры электролита должны быть в пределах  $\pm 5$  °С. **Не допускаются** перерывы подачи тока в процессе электролиза, поскольку это вызывает отслаивание хромового покрытия. Хромирование после перерыва тока возможно, если хромируемую поверхность подвергнуть анодному травлению при плотности тока 25—30 А/дм<sup>2</sup> в течение 30—40 с, а затем, изменив направление тока, продолжать процесс. В этом случае осаждение хрома следует начинать при катодной плотности тока 20—25 А/дм<sup>2</sup> и постепенно увеличивать до нормальной величины.

После окончания процесса хромирования детали выгружаются из ванны и вместе с подвесками промываются холодной водой в течение 15—20 с.

Последний процесс — шлифование под размер. Для шлифования используются круги мягкие или средней твердости с размером зерна от № 60 до 120. Шлифуют, интенсивно поливая поверхность охлаждающей жидкостью, при скорости круга 20—30 м/с и выше. Скорость вращения детали должна быть равна 12—20 м/мин.

Аноды для хромирования изготавливаются из чистого свинца или сплава, состоящего из 92—93% свинца и 7—8% сурьмы.

В ванне расстояние между анодами и деталями не должно превышать 30—35 мм, расстояние деталей от дна ванны — не менее 100—150 мм, а расстояние деталей от зеркала раствора электролита — не менее 50—80 мм. Уровень электролита должен быть ниже верхних кромок ванны на 100—150 мм. При этом слой хрома откладывается равномерно по всей поверхности детали.

Глубина погружения анодов и деталей в ванну должна быть одинаковой, так как иначе на краях деталей образуются утолщения. Плоские детали в ванне должны располагаться вертикально. В этом случае пузырьки водорода, выделяющиеся на поверхность детали, свободно удаляются.

**Железнение.** Электролитическое осаждение железа дает возможность получать толстые (до 3 мм) покрытия. Железнение применяется как самостоятельный метод восстановления детали, а также при создании подслоя для хромирования. Для железнения используются электролиты, содержащие хлористое железо, хлористый натрий и соляную кислоту.

Детали, подлежащие железнению, подвергаются специальной механической обработке — шлифованию задиров, рисок, конусности, полированию или пескоструйной обработке. Ранее цементированные или закаленные детали перед механической обработкой отжигаются.

После обезжиривания в бензине детали протираются ветошью и изолируются. Материалы для изоляции поверхностей, не подлежащих железнению, должны выдерживать пребывание в горячих электролитах в течение 24—30 ч, не разрушаясь при этом. К таким материалам относятся клей БФ-2 или бакелитовый лак при покрытии в 2—3 слоя и сушке каждого слоя в течение 1—2 ч при температуре 100—150 °С, перхлорвиниловый лак, хлорвиниловый пластикат, фаолит, текстолит и т. д.

Подвесные приспособления для железнения должны обеспечивать жесткость крепления и одинаковое расстояние между поверхностью катода и анодами. Контакты на подвеске и анодах тщательно зачищаются. Аноды изготавливаются из малоуглеродистых сталей.

При электрохимическом способе обезжиривания детали навешиваются на анодную штангу. Катодное обезжиривание не применяется, так как оно способствует насыщению поверхности детали водородом.

Детали больших размеров и детали из сплавов, легко растворяющихся в щелочных растворах, обезжириваются венской известью. После этого они промываются в горячей и холодной проточной воде и переносятся в ванну травления.

Перед покрытием деталь подвергается электрохимическому травлению: удаляется окисная пленка, обнажается структура металла для лучшего сцепления его с покрытием. Травление осуществляется на аноде во избежание насыщения детали водородом.

После травления детали промываются холодной проточной водой в течение 4 мин и загружаются в ванну железнения.

Анодное декапирование проводится после переключения двухполюсного рубильника. Детали подвергаются декапированию в течение 1 мин на аноде при плотности тока 8—10 А/дм<sup>2</sup>.

Железнение начинается при малых плотностях тока. При восстановлении деталей из высокоуглеродистых термически обработанных сталей подвески завешиваются в обесточенную рабочую ванну. Напряжение на ванну подают спустя 1—3 мин. Наиболее качественные осадки получаются при толщине покрытия до 1,5 мм. Более толстые покрытия наращивают в несколько приемов с повторением полного цикла подготовительных операций.

Промывка после железнения проводится горячей водой при температуре 80—90 °С. Нейтрализация деталей осуществляется горячим 10% раствором каустической соды с выдержкой 10—30 мин. Затем детали промываются горячей водой для удаления следов щелочи и сушатся.

Термическая обработка ведется в масляной ванне или воздушной среде при температуре 200—300 °С в течение 2—3 ч.

Восстановление изношенных отверстий корпусных деталей осуществляется методом вневанногo железнения (рис. 3.7), при котором гальваническая ванна образуется поверхностью восстанавливаемого отверстия и резиновой пластиной, поджимаемой к торцу отверстия снизу. В ванну заливается электролит и вставляется пруток из стали 10 или стали 20, являющийся анодом. Диаметр анода рекомендуется принимать равным  $\frac{1}{3}$  диаметра ремонтируемого отверстия. Центрирование анода осуществляется с помощью стойки, укрепляемой на детали. Для вневанногo железнения рекомендуется следующий состав электролита: хлористое железо — 500 г/л; соляная кислота — 1,5—3,0 г/л. Плотность тока — 10—15 А/дм<sup>2</sup>.

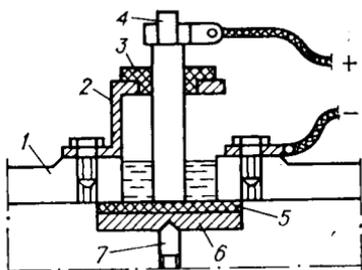


Рис. 3.7. Вневанное железнение:  
1 — корпус машины; 2 — стойка;  
3 — эбонитовая втулка; 4 — анод;  
5 — резиновая прокладка; 6 — под-  
жимная пластина; 7 — прижимной  
винт.

### 3.5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Восстановление деталей при помощи пластических деформаций основано на способности деталей изменять свою геометрическую форму без разрушения под действием внешних сил. Возможны следующие технологические приемы восстановления деталей: правка, вдавливание, вытяжка, осадка, раздача, обжатие, накатка и т. д.

Правка применяется для устранения изгиба, коробления, скручивания. Этим методом восстанавливаются валы, рычаги, кронштейны, шатуны. Правку можно осуществлять с нагревом и без него. Нагрев уменьшает остаточные напряжения в металле, но одновременно может вызвать коробление детали и изменение структуры металла.

Для правки валов и других элементов конструкций используются винтовые скобы, домкраты, рычажные захваты и другие приспособления. Винтовая скоба двумя своими концами захватывает вал, а винт, проходящий через центральную часть скобы, упирается в выпуклую часть вала. Домкрат тоже создает усилие, направленное на выпуклую часть вала, но для передачи этого

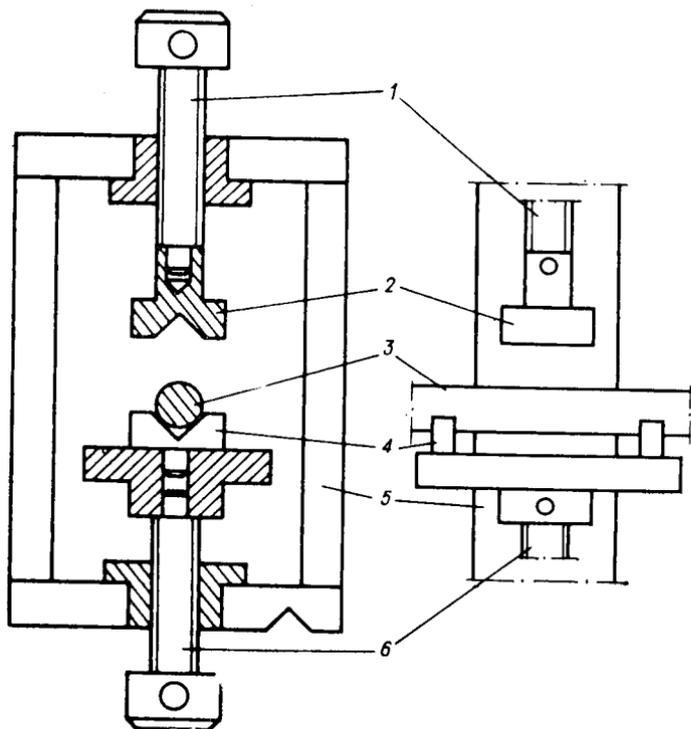


Рис. 3.8. Пресс для правки валов:

1, 6 — подвижные винты; 2, 4 — призмы; 3 — выпрямляемый вал;  
5 — рама.

усилия на вал необходимо иметь стяжное приспособление из профильного проката или других элементов.

Проверку изгиба вала осуществляют индикатором в центрах токарного станка или специального устройства. В качестве примера на рис. 3.8 показан пресс для правки вала, устанавливаемый непосредственно на направляющие станка.

Выпрямляемый вал 3 устанавливают в центрах станка. После того как определена необходимая деформация для правки вала, задний центр станка немного отжимают и вал опускают на подвижные призмы 4, установленные на опоре нижнего винта 6. Правку вала осуществляют с помощью винта 1, передающего усилие на вал через подпятник 2. Регулировка положения призм по диаметру вала проводится посредством домкрата или нижнего винта.

Правка выпучин и вмятин в корпусах аппаратов и емкостей выполняется с нагревом выправляемого участка. При этом соседние участки для обеспечения жесткости могут быть усилены приваркой швеллеров. Выпучины правятся ударами кувалды по медной подкладке в направлении от периферии выпучины

к центру. Нагрев стенок из легированных сталей не допускается, так как это может привести к изменению структуры металла. При невозможности правки устанавливается заплата.

Обжатие и раздача используются для изменения размеров детали.

Разумеется, этот вид восстановления применим только к мелким и тонкостенным деталям из пластичных материалов — латуни, малоуглеродистой стали (при нагреве до 800—900 °С). Деформации могут подвергаться детали, имеющие простейшую геометрическую форму (втулки из цветных металлов, поршневые пальцы и т. д.).

Для осуществления пластических деформаций необходимы специальные приспособления и штампы. Величина износа, которую удается компенсировать пластической деформацией, составляет 0,2 мм. Пластичность цветных металлов достаточно высока, поэтому втулки из цветных металлов (бронза, латунь) при обжатии и осадке не нагревают.

На рис. 3.9 показано приспособление для раздачи поршневых пальцев. Поршневой палец, подлежащий раздаче, помещается в приспособление, затем усилием прессы в отверстие поршневого пальца проталкивается пуансон, в результате чего происходит увеличение наружного диаметра пальца. Раздачу пальцев можно осуществлять в холодном и горячем состоянии. При холодной

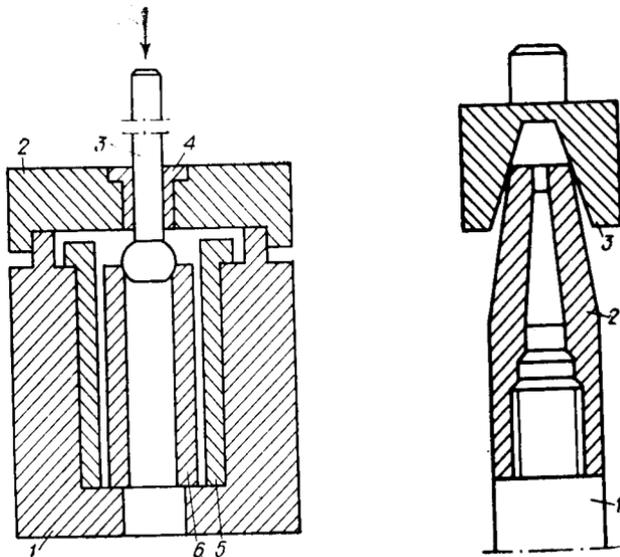


Рис. 3.9. Приспособление для раздачи поршневых пальцев:  
1 — корпус; 2 — крышка; 3 — пуансон; 4 — направляющая втулка; 5 — матрица;  
6 — поршневой палец.

Рис. 3.10. Обжатие сопла:  
1, 3 — оправка; 2 — мундштук.

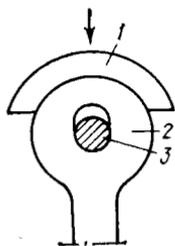


Рис. 3.11. Восстановление проушины:

1 — оправка; 2 — проушина; 3 — палец.

раздаче поршневые пальцы предварительно подвергаются отпуску при температуре 600—680 °С для повышения пластичности материала детали, а раздача проводится при температуре 20 °С. При горячей раздаче поршневые пальцы нагреваются до 650—700 °С. После раздачи поршневые пальцы подвергаются термической и механической обработке. Вследствие наклепа поверхности при холодной раздаче усталостная прочность поршневых пальцев после восстановления повышается.

У мундштуков сварочных горелок изнашиваются сопла, т. е. происходит увеличение диаметра сопла. На рис. 3.10 показано приспособление для восстановления мундштука методом пластической деформации. Мундштук 2 устанавливается на текстолитовую или деревянную оправку 1. На сопло мундштука надевается коническая оправка 3, по которой наносятся легкие удары молотком. При этом сопло мундштука обжимается, а его отверстие уменьшается. После обжатия отверстие рассверливается на требуемый диаметр.

В тяговых устройствах изнашивается отверстие проушины, в результате чего соединительный палец также начинает интенсивно изнашиваться. При ремонте проушина нагревается газовой горелкой, затем при помощи полукруглой оправки и кувалды осуществляется осадка проушины по пальцу, после чего отверстие проушины обрабатывается разверткой до номинального размера (рис. 3.11).

Детали из металлов и сплавов с невысокой твердостью (HRC 25—30) подвергаются пластической деформации в холодном состоянии. Горячая обработка проводится при температуре 800—1200 °С. У закаленных деталей при горячей обработке утрачивается твердость, поэтому после обработки детали подвергаются закалке для достижения требуемой твердости.

Операция пластической деформации приводит к изменению двух размеров втулки, тогда как для восстановления необходимо изменить только одного размера. Поэтому после пластической деформации второй размер необходимо нарастить гильзовкой, наплавкой, металлизацией или другим способом.

Возможно восстановление детали при использовании пластической деформации и без дополнительных операций. Например, внутренний диаметр втулки можно уменьшить не за счет понижения значения наружного диаметра, а за счет укорочения длины втулки. В большинстве случаев уменьшение длины втулки на 5—10% не сказывается на ее работоспособности. Наружная поверхность втулки ограничивается плотно прилегающей оправкой или поверхностью той детали, в которой она запрессована. Внутри трубки вставляется стержень с небольшим зазором, который будет заполняться деформированным материалом втулки.

После этого втулка подвергается осевой нагрузке, приводящей к уменьшению длины и увеличению внутреннего диаметра. С учетом того, что после пластической деформации внутренняя поверхность втулки должна быть обработана, диаметр ограничительного стержня подбирают примерно на 0,2 мм меньше ремонтного диаметра отверстия.

Примером восстановления пластической деформацией является также накатка деталей, при которой цилиндрическая поверхность изношенной детали обкатывается закаленным роликом с насеченной поверхностью. В результате шлифовки или обкатки детали гладким роликом диаметр ее за счет оставшихся углублений увеличивается по сравнению с начальным. Разумеется, износостойкость поверхности детали, восстановленной таким образом, ниже, чем у новой детали, поэтому этот способ восстановления используется для неподвижных соединений, работающих в легких условиях.

### 3.6. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА РЕМОНТНЫЕ РАЗМЕРЫ

Обработка на ремонтные размеры применяется для сопрягаемых деталей с целью восстановления посадки в соединении. При таком виде ремонта одна из сопрягаемых деталей обрабатывается для устранения следов износа, т. е. восстанавливается только качество и форма поверхности, а размер детали изменяется. Вторая деталь целиком изготавливается заново, но уже на новый размер, обеспечивающий проектную посадку в соединении.

В основном этот вид восстановления применяется для пары вал—втулка. При увеличении зазора в сочленении шейка вала протачивается для устранения эллипсности, удаления следов износа, а отверстие (втулка) изготавливается заново с меньшим, чем первоначальное, значением диаметра. Новые размеры деталей соединения отличаются от проектных (номинальных) значений и называются ремонтными. Этот вид ремонта может применяться несколько раз при допустимом уменьшении диаметра вала на 10% от его первоначального размера.

Метод ремонтных размеров применим и для соединений, имеющих высокую точность обработки поверхностей сопрягаемых деталей. В этом случае одна из деталей, чаще всего базовая деталь, имеющая отверстие, обрабатывается с помощью притирки и доводки на новый ремонтный размер с одновременным восстановлением чистоты обработки поверхности отверстия. Вторая деталь (вал) изготавливается заново с большим диаметром также с обработкой поверхности притиркой. Точность обработки при притирке и доводке достигает 0,0005 мм. Чистота поверхности после этих операций может соответствовать наивысшему 14-му

классу шероховатости. Толщина слоя снимаемого металла доходит до 0,03 мм. Используется притирка-доводка для получения плотных герметичных разъемных и подвижных соединений. Осуществляется притирка двумя способами: 1) притирка сопрягаемых поверхностей деталей с помощью абразивных порошков, смешиваемых со смазывающими веществами, и паст, наносимых на притираемые поверхности; 2) притирка сопрягаемых между собой или несопрягаемых поверхностей детали с помощью специальных притиров и с применением притирочных паст или доводочных эмульсий.

Качество притирки проверяется на непроницаемость газами или жидкостями, на просвет и на краску.

По форме притиры могут быть плоские, цилиндрические, резьбовые, специальные (сложной формы, соответствующей форме поверхности притираемой детали).

Изготавливаются притиры из чугуна, бронзы, меди, свинца, стекла, дерева. Материал притира должен быть мягче, чем материал обрабатываемой детали, иначе будет исключена возможность его шаржирования (вдавливания) абразивными зернами. Применяется притирка как для закаленных, так и для незакаленных деталей. Паста или абразивные порошки перед нанесением на поверхность притира разводятся до полужидкой консистенции смазочными веществами (керосин, бензин, скипидар, сало, прованское масло).

Цилиндры поршневых компрессоров при ремонте после расточки и шлифовки получают новый ремонтный размер. Выборка зазора при увеличении диаметра цилиндра осуществляется поршневыми кольцами или применением поршня большего диаметра. Допустимое увеличение диаметра цилиндра составляет 3—5% от его номинального значения. При достижении этого предела применяется гильзовка цилиндра.

Разновидностью обработки на ремонтные размеры является способ дополнительных деталей. При большом износе сопрягаемых деталей между ними устанавливается дополнительная деталь.

В качестве дополнительных деталей применяются втулки, гильзы, кольца, зубчатые венцы, пластины. Обычно толщина устанавливаемой втулки или пластины значительно превышает величину износа детали, поэтому перед установкой дополнительной детали основная деталь обрабатывается по 6—9-му классу шероховатости со съемом значительного слоя металла. Дополнительной деталью может быть гильза, запрессованная в цилиндр компрессора или закрепленная на валу либо на детали, сопряженной с валом. Простота этого способа ремонта очевидна.

Условием надежной работы соединения после ремонта является обеспечение необходимого момента трения в посадке дополнительной детали, препятствующего ее проворачиванию или сдвигу. Для обеспечения этого момента трения соединение основной детали с дополнительной осуществляется напрессовкой, при-

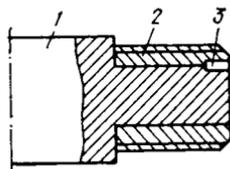
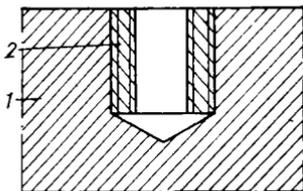


Рис. 3.12. Установка свертыша:

1 — деталь; 2 — свертыш.

Рис. 3.13. Установка резьбовой втулки на вал:

1 — вал; 2 — втулка; 3 — стопорный штифт.

варкой или установкой стопорных винтов. После установки дополнительная деталь подвергается обработке под номинальный или новый ремонтный размер. Например, на шейку коленчатого вала невозможно надеть целые втулки, поэтому втулка разрезается на две половины и приваривается к шейке по линиям разреза с последующей проточкой.

При износе резьбы в чугунных или алюминиевых деталях, когда диаметр резьбы не может быть увеличен под ремонтный размер, применяется установка свертыша, т. е. резьбовой втулки (рис. 3.12). Установка втулки используется также при восстановлении резьбовых участков вала (рис. 3.13).

При выходе из строя подшипников в центробежных насосах происходит смещение вала с рабочим колесом и истирание колеса и корпуса (или крышки насоса). Износ корпуса целесообразно устранять приваркой сменных колец. Крышки насосов при износе ремонтируются установкой на винтах с потайной головкой пластин, которые в дальнейшем заменяются по мере износа.

При износе фторопластового кольца в шаровом кране под фторопластовое кольцо устанавливается паронитовое кольцо для выборки износа. Паронитовое кольцо является дополнительной деталью.

Восстановление крупных бронзовых втулок с толщиной стенок более 10 мм можно осуществить следующим способом. Втулка разрезается по длине с одной стороны дисковой фрезой, затем на кромках разреза снимаются фаски и после сжатия втулки в приспособлении проводится газовая сварка кромок. Для устранения овальности втулка протачивается по наружному диаметру на токарном станке, запрессовывается в металлическую рубашку и стопорится в рубашке винтами. Затем осуществляется окончательная обработка внутренней поверхности втулки и наружной поверхности рубашки. Дополнительной деталью в этом примере является рубашка.

При износе отверстия крестовки применяется установка свертыша с приваркой и последующей обработкой до номинальных размеров.

В случае износа концевых участков детали целесообразна установка вкладыша на сварке с последующей обработкой. Это позволяет использовать неизношенную часть детали при минимальных затратах на ремонт.

Дополнительные детали применяются также при модернизации оборудования. Например, замена кольцевого клапана в компрессоре на прямооточный клапан вынуждает использовать дополнительную деталь — переходной стакан, так как посадочный диаметр прямооточного клапана меньше посадочного диаметра кольцевого клапана.

Метод дополнительных деталей имеет следующие недостатки: снижает усталостную прочность восстановленных деталей, неприменим для восстановления тонкостенных деталей.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. Для соединения частей поломанной чугунной станины использованы планки (накладки), которые перед надеванием на штифты (рис. 3.14) разогревались до температуры, не превышающей  $250^{\circ}\text{C}$ . Почему не рекомендуется нагрев стягивающих планок выше  $250^{\circ}\text{C}$ ? Как изменяется величина сближения деталей при стяжке в случае изменения длины накладок? В каких случаях и каким образом осуществляется установка накладки с одной стороны станины?

3.2. При отсутствии запасной крупногабаритной шестерни изготавливается сварная шестерня (рис. 3.15). Какова должна быть последовательность операций сварки и обработки для обеспечения точности изготовления шестерни?

3.3. При изготовлении вала упорные бурты были заменены насадными кольцами (рис. 3.16). Является ли целесообразной приварка колец?

3.4. Закаленные детали перед наплавкой отжигаются. Какова последовательность дальнейших операций восстановления детали?

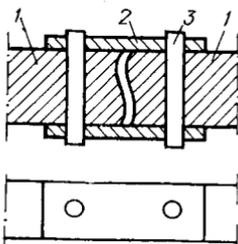


Рис. 3.14. Соединение накладками:

1 — соединяемые части детали; 2 — накладка; 3 — штифт.

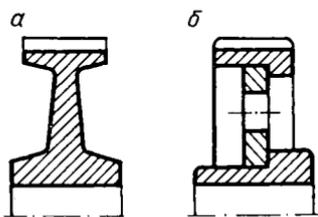


Рис. 3.15. Литая (а) и сборная (б) шестерни.



Рис. 3.16. Вал с буртами (а) и с насадными кольцами (б).

## РЕМОНТНЫЕ ОПЕРАЦИИ

4.1. РАЗБОРКА И СБОРКА МАШИН  
И АППАРАТОВ

В соответствии с ГОСТ 2.101—68 устанавливаются следующие виды изделий: детали, сборочные единицы и комплексы. Деталью называется изделие, изготовленное без применения сборочных операций. Сборочная единица — это изделие, составные части которого подлежат соединению с помощью сборочных операций (редуктор, сварной корпус и т. д.).

Комплекс (агрегат) представляет собой два и более специфицированных изделия, не соединенных с помощью сборочных операций, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (например, батарея полимеризаторов, агрегат для выделения и сушки каучуков и т. п.).

Процесс ремонта оборудования осуществляется в такой последовательности: 1) разборка машины или аппарата на сборочные единицы и детали; 2) очистка и мойка сборочных единиц и деталей; 3) контроль, дефектация и сортировка деталей; 4) восстановление изношенных или замена дефектных сборочных единиц и деталей; 5) сборка машины или аппарата; 6) обкатка и испытание.

**Подъем и перемещение узлов.** Для подъема и перемещения тяжелых узлов, подлежащих разборке, и деталей используются подъемно-транспортные устройства (краны, тали, тельферы, кран-балки).

Тали применяются для подъема сборочных единиц массой до 10 т на небольшую высоту (1—2 м). Таль состоит из цепного полиспаста с ручным приводом от бесконечной цепи или от рычажного храпового механизма. Подвеска тали производится к треногам, козлам или к конструкциям здания.

Электроталь состоит из барабана для навивки каната, полиспаста и тележки, передвигающейся по монорельсу. Грузоподъемность электроталей достигает 50 кН.

Кошки — ручные монорельсовые тележки, предназначенные для перемещения грузов по подвесному однорельсовому пути двутаврового сечения. Для подъема груза к кошке подвешивается ручная таль.

На рис. 4.1 показан передвижной монорельс на базе электропогрузчика, применяемый для подъема оборудования в стесненных условиях на действующей площадке. Основным элементом монорельса — двутавровая балка 3, смонтированная на специаль-

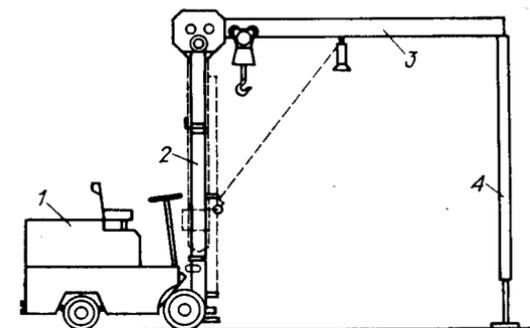


Рис. 4.1. Передвижной монорельс:

1 — электропогрузчик; 2 — поворотная стойка; 3 — балка; 4 — опора.

нением грузоподъемного механизма появляется необходимость использования удлинителей (рис. 4.2). Ролики, валы ротора электродвигателей наращиваются трубой-удлинителем. Иногда более простым оказывается применение противовеса и соединительной втулки.

Для монтажа и демонтажа ротора горизонтального реактора используется приспособление, позволяющее избежать повреждений внутренней полированной поверхности корпуса. Устройство (рис. 4.3) оснащено тележками 2 и 10 с плавающими грузовыми головками. Внутренняя тележка 2 монтируется в корпусе реактора, а наружная 10 устанавливается на направляющих 13, расположенных вне корпуса параллельно его продольной оси.

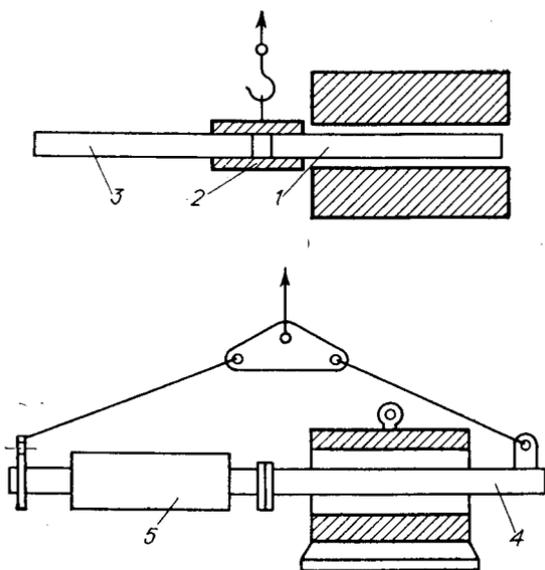


Рис. 4.2. Демонтаж с применением удлинителей:

1 — ролик; 2 — втулка; 3 — противовес; 4 — удлинитель; 5 — ротор.

ной поворотной стойке 2, крепящейся к передней раме электропогрузчика 1. Поворот стойки 2 позволяет перевести балку в рабочее положение. Для подъема груза используется червячная ручная таль. Для обеспечения устойчивости электропогрузчика на передней раме предусмотрены упоры. При демонтаже тяжелых деталей с приме-

нением внутренней тележки состоит из траверсы 14, рамы 17, катков 16 и двух стоек 15. На верхних частях стоек имеются винтовые пары для подъема-опускания траверсы.

Наружная тележка перемещается на четырех катках с помощью ручного привода, состоящего из рукоятки 11 и цепной передачи 12. Грузовая головка наружной тележки перемещается в направляющих вверх-вниз тоже с помощью винтовой пары.

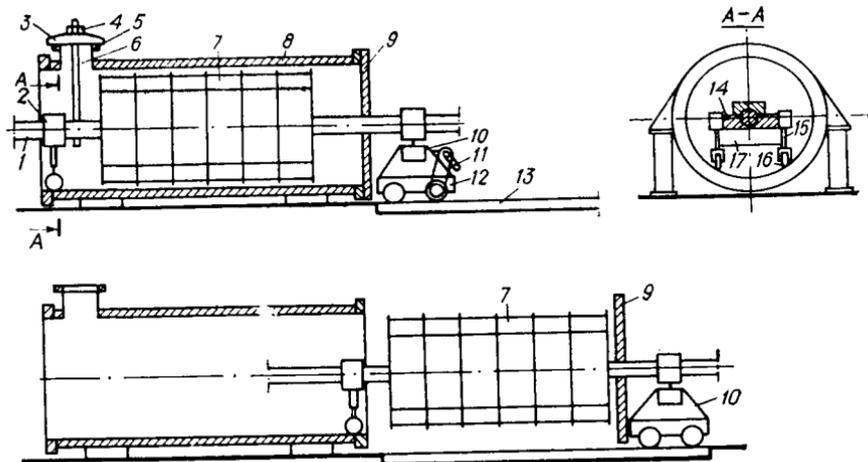


Рис. 4.3. Приспособление для монтажа ротора горизонтального роторного аппарата:

1 — вал; 2 — внутренняя тележка; 3 — поперечина; 4 — гайка; 5 — фланец; 6 — крюк; 7 — ротор; 8 — корпус; 9 — крышка аппарата; 10 — наружная тележка; 11 — рукоятка; 12 — цепная передача; 13 — направляющие; 14 — траверса; 15 — стойка; 16 — каток; 17 — рама.

При демонтаже ротора наружную тележку подкатывают к приводному концу вала и закрепляют его на грузовой головке. Через люк в корпусе реактора вводят крюк 6, который крепится на поперечине 3, и с помощью гайки 4 вывешивают ротор, разгружая опорное устройство неприводного конца вала. После этого снимают торцовую крышку аппарата со стороны неприводного вала и в аппарат вводят внутреннюю тележку устройства с закреплением вала ротора 1 в ее грузовой головке. Затем отсоединяют вторую крышку аппарата 9 со стороны приводного конца вала, снимают крюк 6 и выкатывают ротор из корпуса. После строповки ротора к грузоподъемному механизму проводится съём монтажных тележек и крышки аппарата 9 и доставка ротора к месту ремонта.

При ремонте оборудования возникает необходимость расширения зоны действия мостового крана. В этом случае кран оснащается консольной траверсой, подвешиваемой одновременно к главному и вспомогательному крюкам мостового крана. Более простой является Г-образная траверса, состоящая из горизонтального и вертикального участков (рис. 4.4). В нижней части вертикального участка устанавливается противовес из железобетонного блока. Демонтируемое оборудование подвешивается к горизонтальному участку траверсы. Траверса применима для кранов с одним крюком и может иметь различную длину горизонтального участка.

При разборке машин взаимное положение деталей, не имеющих контрольных штифтов, фиксируют нанесением рисок,

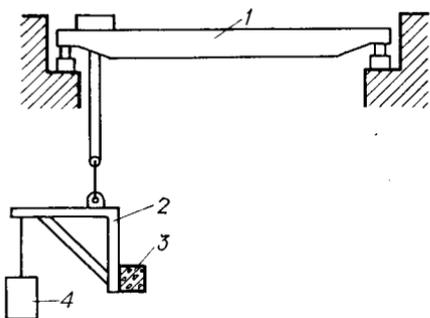


Рис. 4.4. Г-образная траверса:

1 — мостовой кран; 2 — траверса; 3 — противовес; 4 — монтируемое оборудование.

кернением или полосами краски. Это дает возможность при последующей сборке установить сопряженные детали в первоначальное положение, соответствующее их взаимной приработке, и устранить пригоночные операции. Нанесение надписей на сопряженных металлических деталях может осуществляться электрокарандашом (питание переменным током напряжением 12 В). При контактировании карандаша с металлической поверхностью замыкается цепь катушки и якорь с наконечником поднимается вверх. Электрическая цепь при этом размыкается и пружина толкает якорь вниз. При отрыве наконечника от поверхности детали проскакивает искра, которая оставляет след на металле.

**Промывка.** После разборки детали промываются. Перед промывкой детали очищают от нагара, грязи и масла. Нагар можно удалить двумя способами: механическим — скребками, шаберами или стальными щетками; химическим — погружением детали в ванну со специальными растворами. Наиболее распространен моющий раствор, составленный из расчета 24 г каустической соды, 35 г кальцинированной соды, 1,5 г жидкого стекла и 25 г жидкого мыла на 1 л воды. Температура такого раствора должна поддерживаться в пределах 80—90 °С. Длительность промывки составляет 2—3 ч. После обработки раствором детали промывают в горячей воде.

Удобным способом очистки деталей от грязи и масла является промывка в керосине. Промываемые детали загружают в герметичный ящик с керосином. Рекомендуется использовать два ящика: один — для предварительной промывки (в нем остается почти вся грязь), другой — для окончательной. После отмачивания в керосине (20—40 мин) грязь удаляют с деталей щетками. Затем детали промывают окончательно во втором ящике и протирают насухо тряпками. Для промывки углублений, прорезей, глубоких канавок и отверстий применяют набор профилированных стержней и пластинок из мягкого металла.

Для промывки мелких и средних деталей пригодны ящики из листового железа. На борта ящика устанавливают два опорных угольника с деревянной решеткой, на которую укладывают промываемые детали среднего размера, или сетчатые корзины с мелкими промываемыми деталями. Для предохранения от пожара и лучшего сохранения керосина ящики снабжают плотно закрывающимися крышками.

Промывка деталей от смазки осуществляется содовым раствором с подачей пара. Содовый раствор образует со смазкой легко удаляемую мыльную эмульсию.

Очистка аппаратуры от твердых отложений осуществляется 5% раствором соляной кислоты с добавкой ингибитора коррозии (2—3% столярного клея или уротропина).

Для мойки трубопроводной арматуры и мелких деталей обслуживания используются моечные установки проходного типа, в которых обеспечивается продолжительность мойки 5—15 мин. Детали в контейнере движутся через моечную установку, где подвергаются наружной мойке, осуществляемой струями циркулирующего моющего раствора (температурой 80—90 °С), подаваемого через форсунки. При выходе из душевой камеры детали обдуваются струями горячего воздуха.

**Выпрессовка.** Детали с неподвижными посадками необходимо разъединять с помощью специальных съемников, прессов. При помощи съемников осуществляется разборка шпоночных, шлицевых, конусных соединений, а также съем муфт, зубчатых колес, шарикоподшипников, втулок, шкивов и т. д. Съемники могут быть универсальными или специальными, предназначенными для снятия деталей определенного класса.

Универсальные съемники можно использовать для демонтажа деталей с определенным диапазоном диаметров. Поэтому необходимо иметь несколько типоразмеров подобных съемников и сменных захватов.

При выпрессовке чугунных деталей часто происходит обламывание детали в месте ее контакта с лапой съемника. В этом случае целесообразно применять съемники, показанные на рис. 4.5. Кроме основного сменного захвата при меньшем диаметре вала используются дополнительные накладные захваты с противоположным направлением вырезов.

Выпрессовка осуществляется следующим образом. После создания винтом натяга мягкой выколоткой ударяют по снимаемой детали. При некотором смещении детали ее выпрессовывают вращением винта. Детали с прессовыми посадками нужно предварительно подогреть, например, поливая их маслом с температурой 80—100 °С.

Для выпрессовки деталей с большим натягом требуемые усилия создаются гидравлическим домкратом, соединенным шлангом высокого давления с гидронасосом (рис. 4.6).

Усилие, необходимое для выпрессовки, снижается при нагреве охватываемой детали. При этом во избежание нагрева вала его покрывают мокрым асбестом. Не рекомендуется охлаждать вал с помощью сжатого воздуха или воды.

Для охлаждения деталей используется сухой лед (двуокись углерода), имеющий температуру  $-78^{\circ}\text{C}$ , или жидкий азот, имеющий температуру  $-196^{\circ}\text{C}$ .

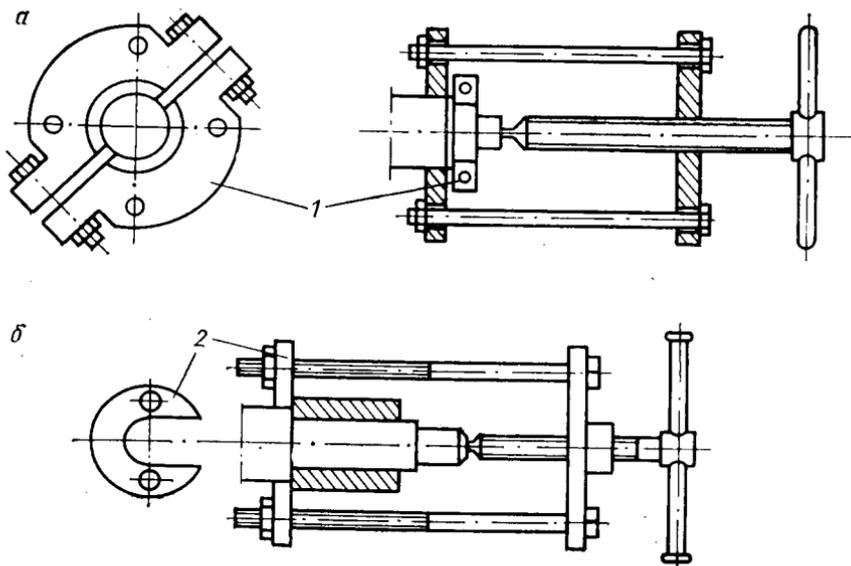


Рис. 4.5. Специальные съемники:  
 а — с разрезным кольцом; б — со сменным захватом;  
 1 — разрезное кольцо; 2 — захват.

Для ускорения процесса охлаждения сухой лед следует погружать в растворитель (ацетон, спирт).

Охлаждение охватываемой детали жидким азотом проводится в термостате с двойными стенками, между которыми засыпана асбестовая крошка.

Выпрессовка втулок из глубоких отверстий может осуществляться приспособлением, показанным на рис. 4.7. После установки приспособления фиксация захватов в нужном положении производится конусом 2 с помощью барашка б. Затем гайкой 5 осуществляется выпрессовка втулки.

Извлечение втулок из глухих отверстий ведется следующим образом (рис. 4.8). В отверстие, куда запрессована втулка, на

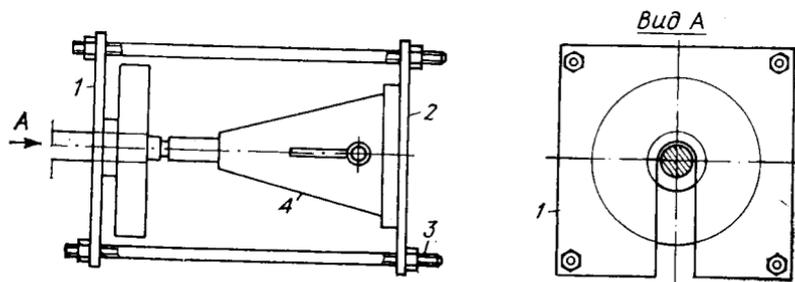


Рис. 4.6. Съемник с домкратом:  
 1, 2 — пластины; 3 — соединительные шпильки; 4 — гидравлический домкрат.

$\frac{3}{4}$  его глубины наливается машинное масло. Затем во втулку вставляется точно изготовленный стержень (плунжер). Несколько ударов молотка по стержню — и втулка удаляется из отверстия. При этом не повреждается ни отверстие, ни втулка. Этот способ целесообразно применять для извлечения закаленных втулок, высверловка которых затруднительна. Стержень (плунжер) при необходимости может быть снабжен кожаной манжетой.

Для запрессовки деталей используются ручные винтовые, рычажно-реечные и гидравлические прессы. На рис. 4.9 показаны возможные способы запрессовки втулок и подшипников. Во избежание перекоса и деформации втулок при запрессовке применяются оправки и направляющие кольца. Окончательная расточка внутренней или наружной поверхности втулки производится после ее запрессовки.

Усилие запрессовки  $P$  (в Н) приближенно может быть рассчитано по эмпирическому уравнению

$$P = 20\delta l$$

где  $\delta$  — натяг, мкм;  $l$  — длина поверхности запрессовки, мм.

При нагреве охватываемой детали усилие запрессовки понижается, а прочность соединения возрастает в 2—3 раза.

**Сборка-разборка резьбовых соединений.** Для сборки-разборки резьбовых соединений в труднодоступных местах используются накидные и торцовые ключи. На рис. 4.10 показано приспособление для заворачивания резьбовых соединений, когда допустимый угол поворота рукоятки ключа менее  $30^\circ$ . Расположение отверстий по поверхности накидного цилиндра позволяет при небольшой величине поворота за один прием добиться полной затяжки резьбового соединения.

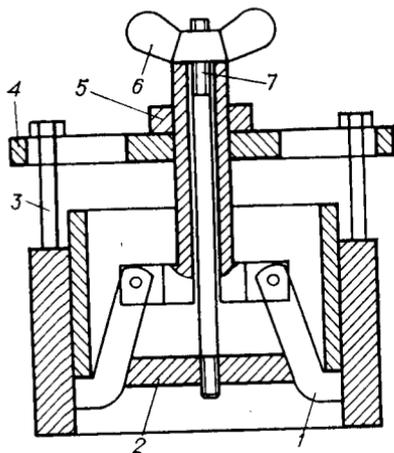


Рис. 4.7. Приспособление для выпрессовки:  
1 — захват; 2 — конус; 3 — стойка; 4 — плита; 5 — гайка; 6 — барашек; 7 — винт.

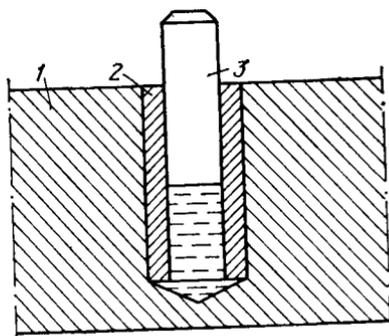


Рис. 4.8. Извлечение втулки из глухого отверстия:  
1 — деталь; 2 — втулка; 3 — стержень.

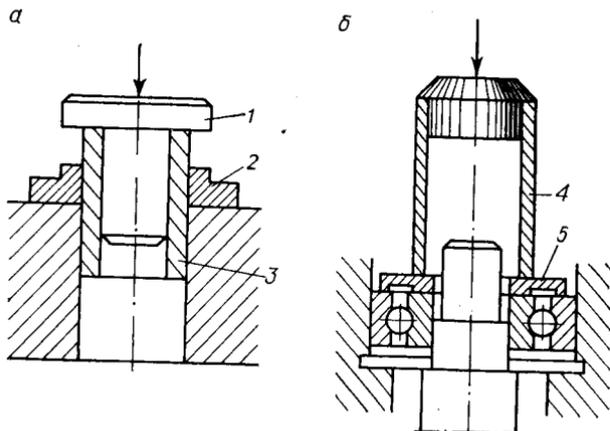


Рис. 4.9. Приспособления для запрессовки втулки (а) и подшипника (б):  
 1 — оправка с накладкой; 2 — направляющее кольцо; 3 — втулка; 4 — оправка; 5 — шайба.

Ручные гаечные ключи применимы только для малых резьб (М20). Для сборки-разборки средних и крупных резьб применяются различные способы повышения усилий. Гайковерты с увеличением крутящего момента могут быть ударного и безударного действия.

Принцип работы ключей с ударным механизмом основан на использовании ударного импульса пружины и превращении его в энергию крутящего момента. Ударный импульс возникает при повороте рукоятки ключа на  $30-60^\circ$  в результате сжатия и резкого срабатывания пружины. Ударная пружина может быть расположена в рукоятке ключа или в его головке. Для затяжки гайки достаточно 4—8 ударов; при этом отпадает необходимость перестановки головки ключа, поскольку ключи работают как тре-

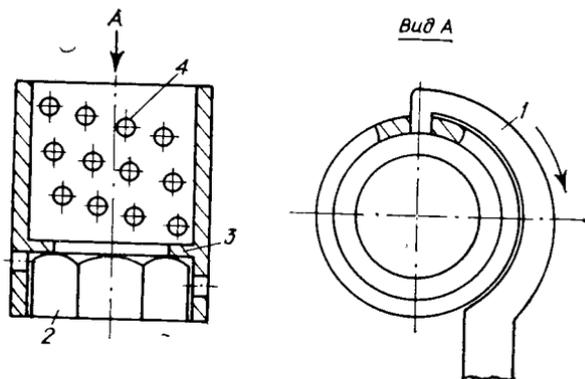


Рис. 4.10. Приспособление для заворачивания резьбовых соединений:  
 1 — шиповый ключ; 2 — головка крепежного элемента; 3 — полый цилиндр; 4 — отверстия.

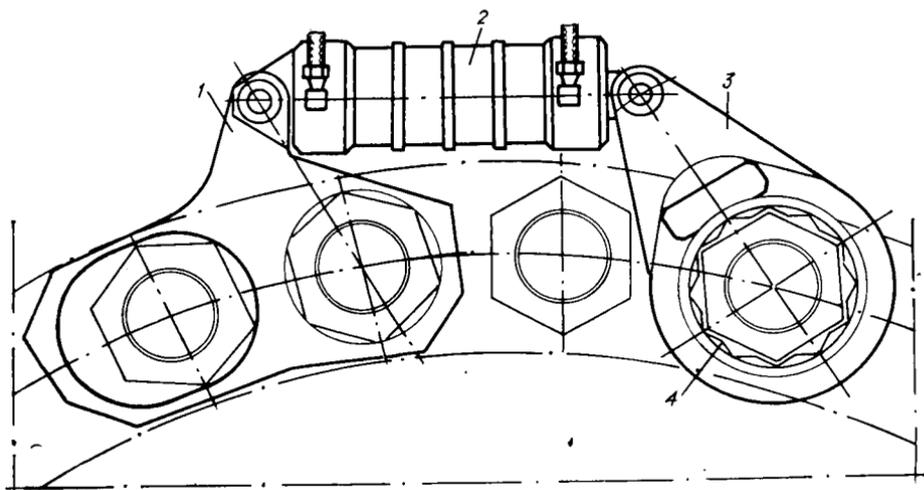


Рис. 4.11. Гидравлический гайковерт:  
1 — опора; 2 — гидроцилиндр; 3 — рукоятка; 4 — звездочка трещотки.

щоточные. Эти ключи дают увеличение крутящего момента, приложенного к рукоятке, в 14—16 раз.

К ключам безударного действия относятся динамометрические ключи, ключи-мультипликаторы, увеличители крутящего момента.

Для аппаратов высокого давления разборка-сборка резьбовых соединений составляет существенную часть затрат ручного труда на ремонт. Относительно большие размеры крепежных деталей таких аппаратов требуют создания значительных крутящих моментов для затяжки при сборке. Ручные операции физически тяжелы, трудоемки, не обеспечивают равномерности усилий затяжки, приводят к преждевременному износу резьбовых соединений, перенапряжению отдельных деталей. Вследствие этого целесообразно применение гидравлических гайковертов (рис. 4.11). Гайковерт состоит из опоры 1, гидроцилиндра 2 и рукоятки 3 с трещоткой. Гидроцилиндр соединяется с опорой и рукояткой на шарнирах и обеспечивает ее возвратно-поступательное движение.

Компактная трещоточная головка выполнена из высоколегированной стали и термообработана. Она состоит из корпуса, звездочки и двух роликов, поджимаемых пружинами. Гидроцилиндр имеет ребра жесткости и сферические подшипники в проушинах. Опора является самостоятельным узлом и может быть заменена при необходимости другой, соответствующей монтируемой конструкции.

В зависимости от расположения резьбовых соединений опору можно выполнять либо в форме одного кольца с упором, либо в форме двух шарнирно соединенных колец, которые свободно

надеваются на гайки. Гидропривод цилиндра работает от малогабаритной насосной станции.

Насосная станция монтируется на раме с четырьмя самоустанавливающимися колесами для ее перевозки. Корпус бака станции служит основанием для крепления всех узлов. Главным узлом является поршневой насос, встроенный внутрь корпуса бака и соединенный в единый блок с электродвигателем. Давление масла в системе регулируется предохранительным клапаном и контролируется по манометру.

Затяжку проводят в такой последовательности. На свободно накрученные гайки собираемой конструкции устанавливают трехточечную головку ключа и опору. Цилиндр, соединенный двумя рукавами высокого давления со станцией, через проушину шарнирно крепится к опоре, а конец штока таким же образом — к рукоятке ключа. В рабочую полость цилиндра подают под давлением масло. Шток цилиндра передает усилие на рукоятку ключа, а реактивное усилие воспринимает опора. Величину усилия затяжки можно установить по манометру насосной станции, учитывая при этом положение осей штока и рукоятки, которое определяется по градуированной шкале. Контроль осуществляют, когда угол взаимного пересечения осей составляет  $90^\circ$  (максимальное усилие затяжки). Для затяжки резьбовых соединений используется также пневмогидравлическая установка, состоящая из пневмогидравлического насоса, силового гидроцилиндра и сменных гаечных ключей. Давление сжатого воздуха 0,5 МПа от передвижного компрессора или цехового воздухопровода преобразуется в пневмогидравлическом насосе в давление жидкости 20 МПа. Жидкость (веретенное масло) по рукаву высокого давления нагнетается в силовой гидроцилиндр, который опирается на соседнюю с затягиваемой гайку или специальную опору, изготавливаемую по месту в зависимости от конструкции оборудования. Шток силового цилиндра шарнирно соединяется с гаечным ключом, которым производится затяжка гайки. Усилие затяжки регулируется давлением сжатого воздуха.

Для затяжки гаек применяется также приспособление, представляющее собой барабан с тросом и укрепляемое с помощью шпонки на торцовом ключе. Трос натягивается любым грузоподъемным механизмом. Подбор сечения шпонки, срабатывающей на срез, обеспечивает сохранность резьбы болта.

Увеличение крутящего момента при затяжке гаек в 40—50 раз достигается в механических устройствах со встроенным планетарным редуктором, также используемым при разборке-сборке.

Затяжка гаек с приложением крутящего момента имеет ряд недостатков, в том числе необходимость преодоления значительных сил трения. Этот недостаток устраняется при использовании гидравлических тенсеров — устройств для упругого растяжения болта (шпильки). Гидротенсер состоит из резьбовой втулки для захвата резьбового конца шпильки, упорной втулки, гидро-

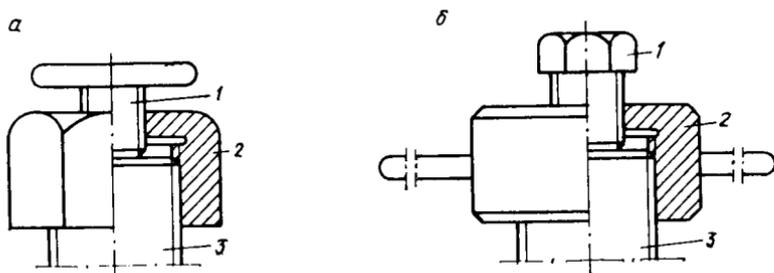


Рис. 4.12. Приспособление для заворачивания шпилек:  
*a* — первое исполнение; *б* — второе исполнение;  
 1 — болт; 2 — гайка; 3 — шпилька.

цилиндра и механизма для вращения гайки. При достижении заданной нагрузки (заданного удлинения шпильки) гайка поворачивается до контакта с опорной поверхностью, давление в гидросистеме сбрасывается, и шпилька оказывается стянутой упругими силами. Поворот гайки может также осуществляться с помощью ручного ключа, вставляемого через прорези в опорной втулке.

Для заворачивания шпилек в труднодоступных местах используют приспособления, характерные конструкции которых представлены на рис. 4.12. После заворачивания шпильки откручивают болт 1, а затем гайку 2.

При сборке с помощью шпилек должны быть выполнены следующие требования: 1) достаточно плотная посадка шпильки в деталь; 2) отношение длины резьбового соединения к диаметру шпильки должно быть больше 0,8 диаметра резьбы для стальных деталей и более 1,1 для чугунных; 3) должна быть обеспечена перпендикулярность оси шпильки к поверхности детали, в которую она ввертывается.

Для предотвращения самоотвинчивания в ответственных резьбовых соединениях гайки стопорятся с помощью контргаек, разводных шплинтов, штифтов, замков и других приспособлений. При разборке-сборке резьбовых соединений может иметь место обрыв болта или шпильки. Оставшаяся часть крепежной детали (обрывок) может быть извлечена из отверстия одним из следующих способов.

1. В обрывке сверлят отверстие, в котором нарезают обратную резьбу; тело шпильки удаляют после заворачивания в отверстие до упора специально изготовленного болта.

2. В обрывке сверлят отверстие, в которое забивают четырехгранный стальной закаленный пруток; тело шпильки удаляют при повороте прутка.

3. В обрывке сверлят отверстие несколько меньшего диаметра, чем внутренний диаметр резьбы, с последующим удалением метчиком резьбовой части шпильки.

4. Если обрывок выступает над поверхностью детали, к нему приваривают металлический пруток, которым его и выворачивают.

При сборке болтовых соединений, в которых сопрягаемые детали соединяются с помощью большого количества болтов или шпилек, необходимо обеспечить равномерность затяга. Для этого рекомендуется сначала затягивать болты, находящиеся ближе к центру детали (если они имеются), а затем периферийные. Затягивание болтов должно осуществляться перекрестным способом с равным усилием. Ограничение крутящего момента затяжки обеспечивается применением гаечных ключей с рукояткой соответствующей длины, а в более ответственных случаях — предельными или динамометрическими ключами, отрегулированными на определенный крутящий момент.

При отворачивании винтов с сильно заржавевшей резьбой используется отвертка, жало которой укреплено в ручке с возможностью перемещения по спирали. После установки жала в паз винта производится удар молотком по ручке отвертки. Жало при ударе прижимается к винту и проворачивается. Винт при этом сдвигается с мертвой точки, после чего легко выворачивается обычной отверткой.

**Сборка.** Сборка любого узла ведется в определенной последовательности. Сложность сборки заключается не столько в соблюдении этой последовательности, сколько в контроле взаимного положения деталей. Работоспособность любого узла определяется качеством сборки, т. е. степенью контроля взаимного положения деталей (соблюдение зазоров и посадок, перпендикулярности и параллельности осей). Необходимость выполнения пригоночных и контрольных операций при сборке приводит к тому, что трудозатраты на эту операцию составляют для некоторых машин 50% общих трудозатрат на ремонт.

Разъемные подшипники скольжения, состоящие из двух половинок (вкладышей), пришабривают при сборке к шейкам вала и после сборки подшипниковых узлов проверяют на легкость вращения. При тугом вращении вала ослабляют затяжку болтов и определяют, какой подшипник защемляет вал. Зазор между шейкой вала и вкладышами регулируют установкой прокладок из жести или фольги между крышкой и корпусом подшипника. Вкладыши закрепляют установочными штифтами и запечниками.

При сборке подшипников качения возможны следующие дефекты. Овальность внутреннего кольца радиального подшипника появляется вследствие неправильной напрессовки на вал. Перекосяк колец при сборке ведет к выкрашиванию их краев. Проворачивание колец на валу или в корпусе приводит к нагреву подшипника и появлению вибраций. При сборке нужно следить за тем, чтобы неподвижное кольцо имело возможность самоустанавливаться для компенсации температурных удлинений. При запрессовке подшипников качения часто необходим нагрев их в масляной ванне до 80—100 °С. Более быстрый и безопасный нагрев подшипников

до 80—90 °С возможен при использовании электроиндукционной установки с контролем температуры нагрева электроконтактным термометром.

Подшипники качения сопрягаются с валом и корпусом на подвижных и неподвижных посадках. Если вращается вал, то посадка внутреннего кольца подшипника на вал должна быть неподвижной, а наружного кольца в корпус — подвижной (при вращающемся же корпусе неподвижная посадка применяется для установки наружного кольца, а подвижная — для внутреннего кольца). Подвижность одного из колец обеспечивает легкую разборку соединений с подшипниками качения, устраняет влияние прогиба вала и монтажных ошибок, предупреждает защемление шариков или роликов в подшипнике.

Запрессовку подшипников качения осуществляют с помощью кольцевой оправки, устанавливаемой на кольцо подшипника, которое монтируется с неподвижной посадкой.

Если подшипник монтируется в корпус, то оправка устанавливается на наружное кольцо. Если подшипник одновременно запрессовывается на вал и в корпус, то применяют широкую оправку, которая опирается на оба кольца сразу, либо под оправку подкладывают специальную шайбу, распределяющую усилие запрессовки на оба кольца (см. рис. 4.9, б).

Конические роликоподшипники, радиально-упорные шарикоподшипники и другие подобные устройства собираются таким образом, чтобы их можно было регулировать. Собранные подшипники должны легко вращаться от руки и при рабочей частоте вращения издавать легкий равномерный шум. Необходимо, чтобы наружное кольцо подшипника, закрепленное в сборочной единице, плотно прилегало к упорному заплечику вала или корпуса, а внутреннее кольцо с затяжной втулкой при помощи гайки плотно зажималось на шейке вала. Торцовые поверхности колец должны быть перпендикулярными оси шейки вала или оси отверстий корпуса. Температура подшипника при нормальной нагрузке не должна превышать 60 °С.

При сборке валов проводятся следующие операции: валы располагают по установочным размерам и разметкам, затем проверяют горизонтальность или вертикальность положения валов, их параллельность, взаимную перпендикулярность или соосность. Для машин среднего класса точности биение валов после их центровки не должно превышать 0,01—0,02 мм.

Сборка зубчатых передач включает следующие операции: 1) проверку взаимного положения валов, насадку и закрепление колес; 2) обеспечение необходимого радиального и бокового зазора; 3) проверку касания рабочих поверхностей зубьев. Взаимное положение зубчатых колес должно соответствовать сборочному чертежу, а собранная передача должна легко и равномерно прокручиваться вручную без местных заеданий. Величины радиальных и боковых зазоров, а также пятна касания на рабочих

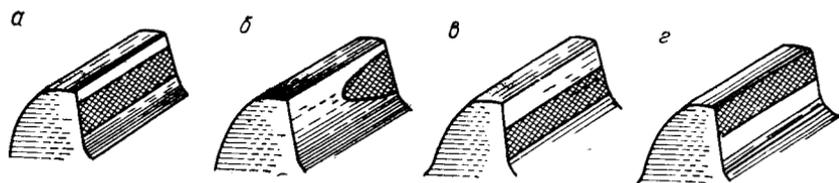


Рис. 4.13. Проверка на краску зацепления зубчатых колес:

*а* — правильное касание; *б* — боковое касание из-за перекоса колес; *в* — низкое касание из-за малого радиального зазора; *г* — высокое касание из-за большого радиального зазора.

поверхностях (рис. 4.13) обязаны соответствовать допускам, установленным техническими условиями.

При недостаточном контакте рабочих поверхностей зубьев зацепление доводят шабровкой зубьев, притиркой пастами и приработкой с маслом под нагрузкой. Притирку начинают с введения в зацепление консистентной смазки с последующим нанесением кистью притирочного состава на вращающееся колесо через короткие промежутки времени.

При сборке червячных передач необходимо обращать внимание на правильность зацепления червяка с зубьями колеса. При этом средняя плоскость зубчатого колеса должна совпадать с осью червяка, межцентровое расстояние должно точно соответствовать чертежу, а боковой зазор в зацеплении — техническим требованиям.

При проверке положения оси червяка относительно средней плоскости колеса его зубья покрывают слоем краски и вращают червяк до полного оборота колеса. Контроль осуществляют по контактными пятнам на зубьях. Если положение оси червяка относительно средней плоскости зубьев колеса правильное, то контактное пятно будет иметь вид, показанный на рис. 4.14, *а* (со смещением пятна в сторону вращения червяка). При смещении

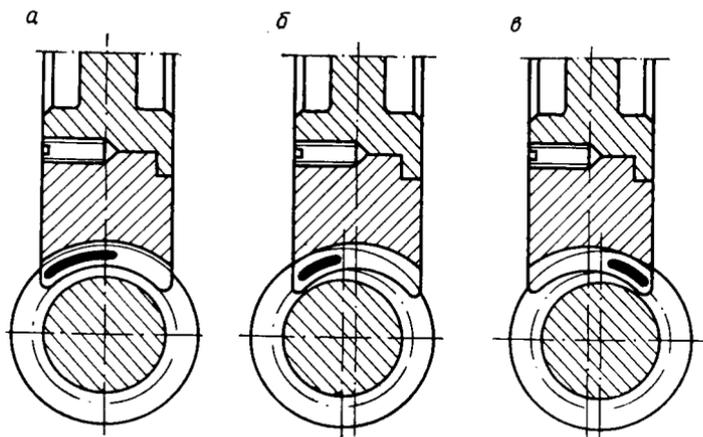


Рис. 4.14. Положение контактных пятен на зубьях червячного колеса.

оси червяка влево или вправо контактные пятна будут образовываться на соответствующих концах зубьев (рис. 4.14, б и в).

Сборка ременных передач сводится к установке, проверке и исправлению взаимного положения подшипников, валов, осей и к навешиванию ремней.

При сборке соединения с клиновой шпонкой необходимо добиться того, чтобы дно шпоночной канавки имело уклон, соответствующий уклону шпонки. При неподвижных соединениях с призматическими и сегментными шпонками нужно следить за тем, чтобы охватывающая деталь центрировалась на цилиндрической или конусной поверхности вала.

Собранные шпоночные соединения должны удовлетворять следующим требованиям: 1) прилегание клиновой шпонки к широким граням канавки должно быть равномерным по всей длине, а головка шпонки в затянутом состоянии должна устанавливаться от ступицы на расстоянии, не превышающем 0,8—1,0 высоты шпонки; 2) в соединениях с призматической шпонкой не должно быть никаких качаний и смещений; 3) в подвижных соединениях нельзя допускать местных перекосов и заклинивания шпонок.

При сборке подвижных и неподвижных шлицевых соединений проводится контроль на «биение» и на «качку» под действием создаваемого вручную крутящего момента. В неподвижных шлицевых соединениях усилие перемещения деталей относительно друг друга должно быть равномерным по всей длине. Не допускаются местные перекосы и заклинивание сопрягаемых деталей.

Перед запрессовкой самоподвижных сальников (манжет) в крышку или корпус подшипника во избежание повреждения пружины снимают. Чтобы при надевании на вал, не имеющий фаски на уступе, не повредить манжету, применяют конусную оправку. Подобные оправки используют также для поршневых колец при введении поршня в цилиндр. На рис. 4.15 показана конусная насадка, облегчающая заведение трубы в отверстие трубной решетки. При сборочных операциях подобные направляющие конусные приспособления применяются очень широко.

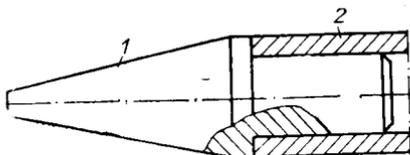


Рис. 4.15. Направляющий конус:  
1 — оправка; 2 — труба.

## 4.2. БАЛАНСИРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

Балансировка является специфическим способом восстановления деталей, при котором восстанавливается их динамическая или статическая уравновешенность, утраченная в результате износа или после ремонтных операций, которые предшествовали балансировке. Нарушенные балансировки может возникнуть также при сборке вращающегося узла. Неуравновешенные массы при

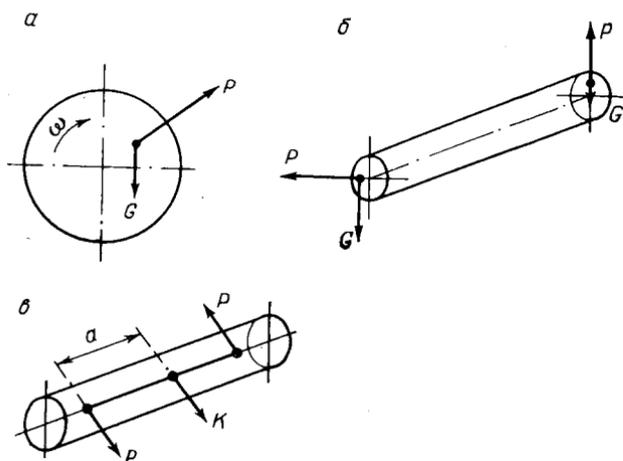


Рис. 4.16. Виды неуравновешенности:

*a* — неуравновешенность тонкого диска; *б* — неуравновешенность длинного ротора; *в* — приведение сил к паре и результирующей силе.

вращения приводят к появлению центробежных сил, которые вызывают вибрацию машины и ее повреждение. В механическом смысле балансировка — метод распределения массы вращающегося тела, при котором устраняется вибрация опор тела.

Возможна неуравновешенность двух типов (рис. 4.16). Для деталей, близких по форме к тонким дискам, характерна неуравновешенность, проявляющаяся в смещении центра тяжести детали от оси вращения и появлении центробежной силы. Для деталей, имеющих значительную длину в осевом направлении, неуравновешенные силы возникают в различных сечениях. Эти силы могут быть приведены к паре сил  $P-P$  и результирующей силе  $K$ .

Дисбаланс  $D$  измеряется статическим моментом:

$$D = Gr = mR$$

где  $G$  — вес детали, Н;  $r$  — смещение центра тяжести детали от оси вращения, см;  $m$  — неуравновешенная сила (или вес уравновешивающего груза), Н;  $R$  — расстояние от оси вращения до центра тяжести уравновешивающего груза, см.

Неуравновешенность от пары сил называется динамической неуравновешенностью, поскольку обнаружить ее статической балансировкой невозможно. Ее определяют в динамических условиях при вращении детали, когда возникает момент пары сил  $M$ :

$$M = Pa = mr\omega^2 a/g$$

где  $a$  — плечо пары сил;  $m$  — вес одного из грузов, вызывающих дисбаланс;  $\omega$  — угловая скорость;  $g$  — ускорение свободного падения.

На практике чаще всего встречается смешанная неуравновешенность. При этом сначала должна проводиться статическая балансировка для уменьшения результирующей силы  $K$ , а затем динамическая.

Первым фактором, определяющим границы использования статической или динамической балансировки, является относительная длина детали  $L/D$ , вторым — частота вращения детали  $n$ . На рис. 4.17 представлен график для определения границ динамической и статической балансировки в зависимости от  $L/D$  и  $n$ . Область I с малыми значениями  $L/D$  и  $n$  соответствует статической балансировке. Область III, отвечающая большим значениям  $L/D$  и  $n$ , является областью динамической балансировки. Область II может быть зоной как статической, так и динамической балансировки. Для неответственных деталей в промежуточной области II применяется статическая балансировка, а для ответственных — динамическая.

Статическая балансировка основана на стремлении центра тяжести детали занять положение, наиболее низкое из всех возможных. Таким образом, центр тяжести неуравновешенной детали будет размещаться на вертикальном направлении ниже оси вращения. Статическая балансировка осуществляется на специальных приспособлениях — призмах (рис. 4.18, а) или вращающихся дисках (рис. 4.18, б). Призмы состоят из рамы и двух закаленных опорных ножей. Рама прочно закрепляется на фунда-

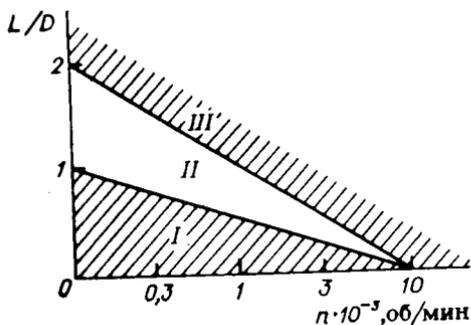


Рис. 4.17. Границы статической и динамической балансировки:

I — область статической балансировки; II — промежуточная область; III — область динамической балансировки.

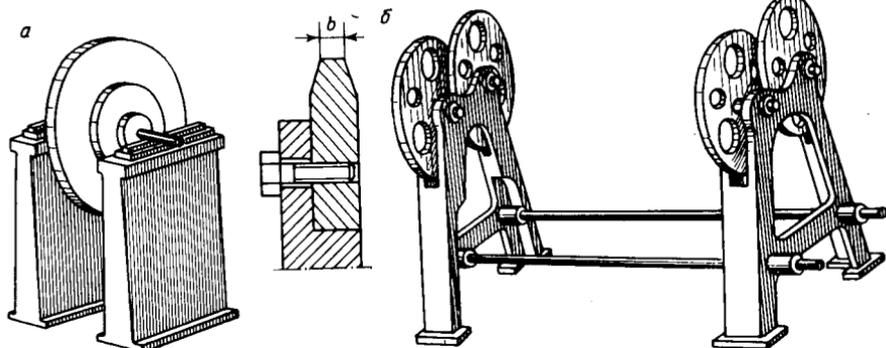


Рис. 4.18. Приспособления для статической балансировки валов; а — призмы; б — диски.

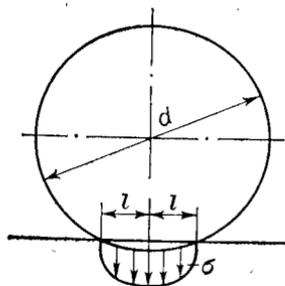


Рис. 4.19. Контактные напряжения при статической балансировке.

менте или на полу для исключения сотрясений. Ножи устанавливаются строго параллельно и горизонтально в продольном и поперечном направлениях с помощью уровня и микрометрических винтов. Ширина верхней опорной части ножей должна исключать образование вмятин на шейках вала детали. В то же время трение качения детали должно быть сведено к минимуму. Коэффициент трения качения обычно равен  $(1 \div 4) \cdot 10^{-2}$ . Если смещение центра тяжести детали не превышает значения коэффициента трения качения, деталь теряет способность перемещаться на

призмах, поэтому максимальное смещение центра тяжести, определяемое на призмах, равно величине коэффициента трения качения.

Дисковое балансировочное приспособление состоит из рамы и четырех дисков, которые могут вращаться вокруг осей на шарикоподшипниках. Это приспособление дает большую погрешность, так как необходимо преодолеть не только трение качения детали по дискам, но и трение качения шарикоподшипников. Кроме того, сами диски должны быть точно отбалансированы.

Однако диски позволяют балансировать детали с различным диаметром шеек путем регулировки межосевого расстояния между ними и высоты их установки.

Для балансировки на призмах деталей с различным диаметром шеек необходимо дополнительно вытачивать втулку, надеваемую на шейку меньшего диаметра.

При качении детали по призмам возникают контактные напряжения и деформация поверхностей, носящая упругий характер. Эпюра контактных напряжений на площадке касания имеет форму эллипса (рис. 4.19). Решение уравнений теории контактных деформаций приводит к следующим формулам.

Размер площадки контакта:

$$l = 0,80 \sqrt{pd \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}$$

Наибольшее контактное напряжение в центре площадки:

$$\sigma = 0,798 \sqrt{\frac{p}{d \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (4.1)$$

где  $p$  — нагрузка на единицу ширины призм, Н/см;  $d$  — диаметр шеек детали, м;  $\mu_1, \mu_2$  — коэффициенты Пуассона для первой и второй деталей;  $E_1, E_2$  — модули упругости для первой и второй детали.

Таблица 4.1

Металл	$\sigma$ , МПа	Допускаемое максимальное контактное напряжение, МПа	Металл	$\sigma$ , МПа	Допускаемое максимальное контактное напряжение, МПа
Сталь 30	480—600	850—1050	СЧ 21-40	950	800—900
Сталь 40	570—700	1000—1350	СЧ 28-48	1100	1000—1100
Сталь 50	630—800	1050—1400	СЧ 32-52	1200	1100—1200
Сталь 50Г	650—850	1100—1450	СЧ 35-56	1300	1200—1300
Сталь 20Х	700—850	1200—1450	СЧ 38-60	1400	1300—1400

Значения  $\mu$  и  $E$  для различных материалов отличаются незначительно, поэтому, приняв  $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,3$  и  $E_1 = E_2 = E = 2 \cdot 10^5$  МПа, из уравнения (4.1) получаем:

$$\sigma = 0,59 \sqrt{\frac{pE}{d}}$$

Здесь  $p = G/b$ , где  $G$  — нагрузка на призму, Н;  $b$  — минимальная ширина призмы, мм.

Из последнего уравнения находим:

$$b = 0,35 \frac{GE}{\sigma^2 d} \quad (4.2)$$

Рабочая ширина призм должна быть больше или равна значению, определяемому по уравнению (4.2). Значения допускаемого максимального напряжения на площадке соприкосновения при статической нагрузке приведены в табл. 4.1.

Допускаемое контактное напряжение, как следует из табл. 4.1, зависит от материала призм и детали. Поэтому при расчете по уравнению (4.2) принимается значение допускаемого контактного напряжения для материала детали или для материала призм. Если нет указаний о материале балансируемой детали, используется значение  $\sigma = 800$  МПа.

Ориентировочно, ширина рабочей поверхности ножей:

0,3 мм	для	деталей	массой	до	3 кг
3 мм	»	»	»	»	30 кг
10 мм	»	»	»	»	300 кг

Техника статической балансировки заключается в следующем. Балансируемую деталь (колесо центробежного насоса, шкив, шестерня) надевают на ее рабочий вал или на специально изготовленную оправку и устанавливают на балансирующее приспособление. Для преодоления трения покоя детали сообщается толчок, вызывающий перекачивание ее на приспособлении. После затухания качения деталь самоустанавливается в нижнем вертикальном положении центра тяжести относительно оси вращения.

Отмечают мелом направление центра тяжести детали от оси детали и, устанавливая на диаметрально противоположном направлении компенсирующие тарированные грузы (намагниченные куски железа, пластилин и др.), добиваются устранения дисбаланса (разбаланса).

Влияние сил трения качения на направление неуравновешенной силы приближенно учитывается следующим образом. Отмечается мелом направление центра тяжести детали после ее остановки на призмах. Затем деталь поворачивается на  $90^\circ$  так, чтобы меловая отметка оказалась в горизонтальной плоскости слева, и деталь предоставляется самой себе. После остановки детали на вертикальном направлении наносится меловая метка. Далее операции повторяются при повороте детали на  $90^\circ$  вправо и определяется положение второй меловой метки. Действительное направление центра тяжести будет находиться посередине между двумя меловыми метками.

При достижении полной статической уравновешенности прочерченный меловой луч будет останавливаться после толчка детали в любом произвольном направлении. После этого следует закрепить необходимый груз (с помощью сварки) в том месте, которое было отмечено при балансировке. Однако чаще используется снятие сверлением или другим способом металла на направлении той части луча, на которой находится центр тяжести детали.

Более точно (с учетом трения качения) балансировка на призмах осуществляется следующим образом. Сначала, повернув ротор на призмах, дают ему возможность свободно остановиться, каждый раз отмечая мелом нижнюю точку. Если нижнее положение будет занимать одна и та же точка, через нее проводят вертикальную линию и подбором груза стремятся скомпенсировать разбаланс. Добившись безразличного положения оправки с ротором переходят к следующей операции, которая заключается в определении остаточного разбаланса вследствие наличия сил трения между призмами и оправкой.

Окружность диска делят на 6—8 равных частей. У отмеченных делений на роторе, устанавливаемых поочередно в горизонтальной плоскости, подвешивают различные грузики, одинаково удаленные от центра, до тех пор, пока ротор не начнет вращаться на призмах. Вес этих грузиков наносится на диаграмму (рис. 4.20). По кривой (для минимального значения  $P_{\text{мин}}$ ) находят направление центра тяжести диска. Чтобы диск уравновесить, нужно в диаметрально противоположном месте ( $P_{\text{макс}}$ ) поставить корректирующий груз.

Величину требуемого корректирующего груза  $Q$  определяют по формуле:

$$Q = \frac{P_{\text{макс}} - P_{\text{мин}}}{2}$$

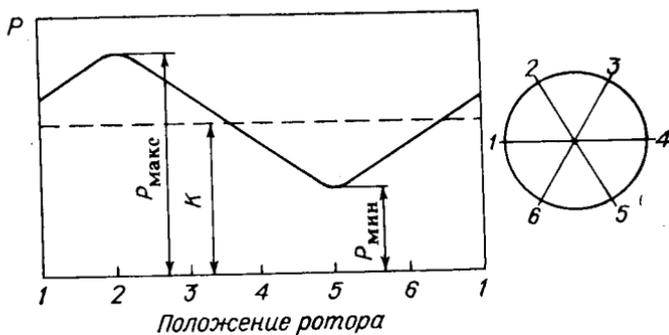


Рис. 4.20. Диаграмма для определения места и величины разбаланса.

Величина фактического разбаланса рабочего колеса находится по формуле:

$$Q_r = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} r$$

где  $r$  — радиус крепления неуравновешенного груза, см.

Из диаграммы величина  $K$ , учитывающая влияние трения качения, будет равна:

$$K = P_{\min} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2}$$

Контроль качества статической балансировки включает в себя проверку правильности условий проведения балансировки и контроль остаточной неуравновешенности.

Динамическая балансировка гораздо сложнее статической. Обычно ее выполняют на машиностроительных заводах при изготовлении машин. В процессе эксплуатации дисбаланс появляется в результате неравномерного износа, налипания продуктов, деформации детали или вала. Неуравновешенность узла в сборе оказывается в несколько раз выше, чем собственная неуравновешенность отдельных деталей, т. е. большая часть дисбаланса создается при сборочных операциях. Поэтому для деталей целесообразна статическая, а для узлов — динамическая балансировка. Качество динамической балансировки оценивается с помощью коэффициента уравновешенности, равного отношению динамической нагрузки на подшипник от неуравновешенных центробежных сил  $P$  к статической нагрузке от веса ротора  $Q_p$ :

$$k = P/Q_p \quad (4.3)$$

Если  $P \geq Q_p$  ( $k \geq 1$ ), возникают периодические удары цапфы о подшипник с амплитудой колебаний цапфы, равной зазору в подшипнике  $\delta$ . Подобный режим работы машины недопустим, поэтому допустимая неуравновешенность определяется условием  $k < 1$ . При этом условии центр цапфы совершает колебательное движение с амплитудой колебаний в горизонтальной плоскости

также равной  $\delta$ . Из-за колебательного движения цапфы нагрузка на подшипник будет равна сумме касательной силы переносного движения цапфы и нормальной силы инерции относительного движения ротора:

$$P = \frac{m}{g} \frac{\delta}{2} \omega^2 + \frac{m}{g} \delta \omega^2 \quad (4.4)$$

Это выражение показывает, что по мере износа деталей и увеличения зазора в подшипнике динамическая нагрузка увеличивается.

Уравнения (4.3) и (4.4) позволяют рассчитать максимальный зазор в подшипнике, при котором возникает повышенный износ подшипника (при  $k \geq 1$ ). При ремонте достаточно принимать  $k = 0,1 \div 0,01$ .

Неуравновешенные центробежные силы могут быть приведены к результирующей силе и паре сил. Результирующая сила компенсируется при статической балансировке. Пара сил устраняется при динамической балансировке. Пара сил может быть приведена к любой плоскости. Плоскостями балансировки, т. е. плоскостями установки балансировочных грузов, при динамической балансировке удобнее всего выбирать торцовые поверхности ротора.

Принципиальная схема динамической балансировки на балансировочном станке заключается в последовательном уравновешивании двух (для длинных валов — трех) плоскостей балансировки. С этой целью одна опора закрепляется неподвижно, а другая совершает колебания вместе с колебаниями балансируемой детали. Например, при закреплении левой опоры (рис. 4.21) колебания правой опоры будут вызываться воздействием сил:

$$P_1 = \frac{G_1}{g} R_1 \omega^2; \quad P_2 = \frac{G_2}{g} R_2 \omega^2$$

При этом воздействие силы  $P_1$  на правую опору будет значительным, а воздействие силы  $P_2$  (как более удаленной от этой

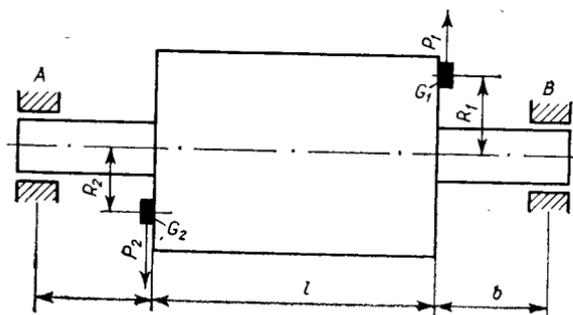


Рис. 4.21. Схема неуравновешенности от пары сил.

опоры) — слабым, однако при балансировке правой опоры сила  $P_2$  тоже частично учитывается.

При закреплении правой опоры колебания левой будут вызываться главным образом силой  $P_2$  и в меньшей степени силой  $P_1$ . При балансировке левой плоскости в основном устраняется влияние на вибрацию силы  $P_2$ , что приводит к незначительному разбалансу правой опоры. Поэтому процесс динамической балансировки заключается в последовательной балансировке обеих опор до необходимого остаточного разбаланса.

Если ротор статически уравновешен, то силы  $P_1$  и  $P_2$  равны по величине и противоположно направлены. В этом случае воздействие сил на опору  $B$  можно найти, приравняв нулю сумму моментов всех сил относительно опоры  $A$ .

Так как  $P_1 = P_2 = P$ , то

$$B = \frac{Pl}{a + b + l}$$

Для статически уравновешенного ротора нетрудно рассчитать остаточную неуравновешенность, обусловленную силой  $P_2$ , и провести балансировку правой опоры только с учетом силы  $P_1$ . Без учета силы  $P_2$  реакция опоры  $B_1$  будет равна:

$$B_1 = -P \frac{a + b}{a + b + l}$$

Таким образом, величина груза  $G$ , который вызывает уравновешивание опоры  $B$ , должна быть уменьшена в  $(a + l)/l$  раз. Аналогичным образом при балансировке левой опоры можно рассчитать остаточную неуравновешенность, вызываемую силой  $P_1$ . Использование подобных расчетов позволяет ускорить процесс балансировки.

Требуемое направление приложения груза может не соответствовать возможным точкам закрепления груза. В этом случае уравновешивающий груз может быть разделен на два груза, которые в сумме дают такую же центробежную силу по величине и направлению. Например, если уравновешивающий груз  $G$  должен быть приложен в точке  $A$  (рис. 4.22), а по конструктивным соображениям его можно приложить только в точках  $B$  и  $C$ , то расчет уравновешивающих грузов  $G_B$  и  $G_C$  осуществляется следующим образом. Точка  $A$  проецируется на оси  $OB$  и  $OC$  так, чтобы сумма векторов  $OB'$  и  $OC'$  равнялась вектору  $OA$ . При этом необходимо помнить, что складывается не вес грузов, а центробежные силы, величина которых зависит от радиуса

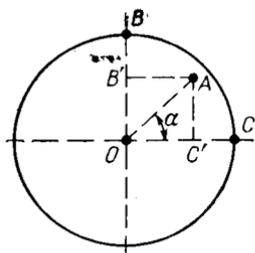


Рис. 4.22. Схема замены уравновешивающего груза парой грузов.

приложения грузов. Вес устанавливаемого груза определяется из равенства моментов, создаваемых грузом:

$$G_B = G \frac{OB}{OB'}; \quad G_C = \frac{OC}{OC'}$$

Динамическая балансировка проводится на балансировочных станках при значении  $n$ , которое меньше рабочей частоты вращения, или в собственных опорах ротора при рабочем значении  $n$ . Балансировочные станки в химической промышленности применяются для балансировки роторов турбокомпрессоров, дымососов, электродвигателей и т. д. На станке узел вращения балансируется в сборе.

Балансировочный станок имеет станину, привод и опоры с люльками. Для торможения детали после замеров двигатель снабжается магнитным тормозом. Люльки в опорах могут колебаться в направлении, перпендикулярном оси балансируемой детали. К люльке присоединяется датчик колебаний. Датчик имеет виброшуп, упирающийся в люльку или в подшипниковую опору (при балансировке в собственных опорах). Применение находят индукционные, пьезоэлектрические, тензометрические датчики, а также оптические методы.

Направление колебаний для жестких роторов обычно отстает от направления неуравновешенной силы на  $15-45^\circ$ . Для определения последнего виброметр может иметь датчик фазы — генератор вращающегося магнитного поля, в качестве которого используется таходинамо. Регистрация сдвига фаз может осуществляться и самостоятельным прибором. Таким образом, при динамической балансировке на станке определяется величина уравновешивающих грузов и направление приложения грузов.

Операция балансировки повторяется последовательно с обеими опорами вала до достижения необходимой остаточной неуравновешенности. Дисбаланс устраняется съерлением, фрезерованием, наплавкой металла.

Остаточная неуравновешенность может выражаться величиной дисбаланса ( $H \cdot \text{см}$ ) или величиной смещения центра тяжести. Обычно смещение центра тяжести выражается в мм или мкм. Допуск на смещение центра тяжести равен  $0,001-0,025$  мм в зависимости от условий работы детали.

Величина остаточной неуравновешенности определяется на основе опытных норм. Допустимая остаточная неуравновешенность зависит от скорости вращения ротора, отношения веса вращающегося ротора к весу всей машины и отношения собственной частоты колебаний опорной конструкции к частоте вынужденных колебаний (частоте вращения ротора). Чем выше частота вращения и относительный вес ротора и чем ниже отношение частот собственных и вынужденных колебаний, тем меньше допуск на остаточную неуравновешенность.

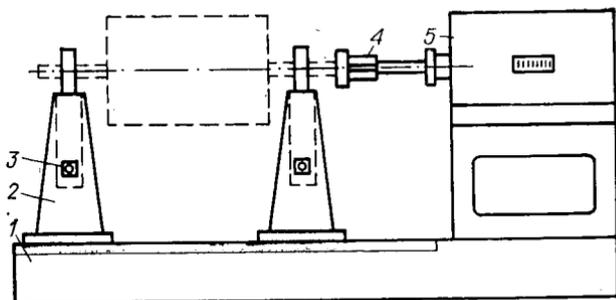


Рис. 4.23. Балансировочный станок С 03-1:

1 — станина; 2 — стойка; 3 — датчик; 4 — шарнирная муфта; 5 — шпиндельная бабка.

Балансировка в собственных опорах осуществляется при рабочем значении  $n$  путем измерения виброметром колебаний опор в той же последовательности, что и при балансировке на станке. При работе машины колебания передаются не только на опоры, но и на фундамент. Амплитуда этих колебаний меньше, чем при свободной подвеске опоры в балансировочном станке. Для повышения амплитуды колебаний опор последние в период балансировки могут крепиться к станине на резиновых прокладках. Остаточная неуравновешенность при балансировке в собственных опорах выражается величиной остаточной амплитуды колебаний подшипниковых опор.

Рассмотренные способы динамической балансировки относятся к жестким роторам, у которых рабочее значение  $n$  не превышает первой критической скорости, когда появляются признаки резонанса и амплитуда колебаний резко увеличивается. Для гибких роторов, рабочая скорость которых равна или выше первой критической скорости вращения, характер колебаний опор зависит от податливости и массы опор, а воздействие пробных грузов — от распределения неуравновешенных сил по длине ротора.

Для жесткого ротора неуравновешенность может быть устранена при любом значении  $n$ , так как положение неуравновешенных сил не зависит от частоты вращения. Для гибких роторов величина дисбаланса и форма упругой линии вала зависят от  $n$ . Поэтому балансировка гибких роторов осуществляется только при рабочем значении  $n$ . Ниже рассматривается конструкция одного из станков для динамической балансировки.

На чугунной станине 1 станка (рис. 4.23) установлены стойки 2 и шпиндельная бабка 5. В стойках укреплены датчики колебаний 3. Соединение балансируемой детали со шпиндельной бабкой осуществляется шарнирной приводной муфтой 4. Привод, пульт управления и измерительные приборы размещены в шпиндельной бабке.

Станок предназначен для балансировки деталей массой 100—1000 кг при наибольшем их диаметре 1400 мм. Расстояние между

серединами опорных стоек — 300—2500 мм. Балансировка осуществляется при частоте вращения 700 об/мин. Станина станка имеет направляющие для перемещения стоек на нужную длину балансируемой детали. На стойках смонтирован механизм зажима подвесок. Датчик представляет собой неподвижную катушку и подвижный постоянный магнит на плоских пружинах. В шпиндельной бабке установлен ленточный тормоз для торможения детали после балансировки.

Балансируемая деталь укладывается опорными шейками на вкладыши подвесок. Набор вкладышей позволяет балансировать детали с различным диаметром шеек. При необходимости под шейки детали должны быть изготовлены вкладыши, которые устанавливаются в подвески. Подшипники совместно с подвесками (люльками) подвешены внутри стоек на тонких стальных лентах. Благодаря такому способу крепления подвесок центробежные силы вызывают колебания балансируемой детали вместе с подвесками в горизонтальной плоскости. Приводная шарнирная муфта не препятствует колебаниям подвесок.

Колебания каждой подвески передаются через проволочные тяги магнитам индукционных датчиков. При колебаниях магнитов в обмотках катушек датчиков возникает электродвижущая сила (э. д. с.). Величина э. д. с. пропорциональна скорости перемещения постоянных магнитов в катушке. При постоянном значении  $n$  скорость перемещения магнита пропорциональна неуравновешенности и э. д. с. датчика линейно зависит от величины дисбаланса. Определения величины и места неуровновешенности проводятся последовательно сначала для одной плоскости исправления, затем для другой без прекращения вращения изделия.

Величина неуровновешенности измеряется ваттметром, шкала которого отградуирована в мкм. Поиск углового положения неуровновешенности осуществляется вращением маховика поворотного статора измерительного генератора. Угловое положение неуровновешенности отсчитывается по шкале лимба измерительного генератора и на изделии определяется по такому же делению на лимбе, закрепленном на передней части шпинделя бабки.

Положение и величина неуровновешенности определяются сначала для левой опоры. Затем находят эти же параметры для правой опоры. После этого следует исправление дисбаланса обеих плоскостей и определение остаточной неуровновешенности. При необходимости проводят повторную балансировку.

При посадке детали на вал, когда из-за перекоса появляется торцовое биение, также возникает динамическая неуровновешенность, момент которой  $M$  (в Н·м) определяется по формуле:

$$M = \frac{QD^2\omega^2 \sin 2\varphi}{32g}$$

где  $Q$  — вес детали, Н;  $D$  — диаметр детали, м;  $\omega$  — угловая частота вращения, рад/с;  $\varphi$  — угол между плоскостью вращения

и плоскостью детали;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Если известна величина торцового биения  $B$  детали у ее периферии (рис. 4.24), то удобнее пользоваться приближенной формулой, справедливой при  $B/D < 0,07$ :

$$M = \frac{QD\omega^2 B}{16g}$$

**Пример 4.1.** Ротор центробежного насоса весом  $M = 150$  Н вращается с частотой  $n = 3000$  об/мин и имеет смещение центра тяжести от оси вращения  $r = 0,5$  мм. Определить максимальную силу, действующую на каждую опору ротора.

**Решение.** Центробежная сила:

$$F = \frac{M}{g} \omega^2 r = \frac{M}{g} \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 r = \frac{150}{9,81} \left( \frac{3,14 \cdot 3000}{30} \right)^2 0,5 \cdot 10^{-3} = 750 \text{ Н}$$

Максимальная сила, действующая на одну опору:

$$F_1 = \frac{M + F}{2} = \frac{150 + 750}{2} = 450 \text{ Н}$$

В данном примере центробежная сила в несколько раз превышает силу тяжести.

**Пример 4.2.** Рассчитать допустимую остаточную неуравновешенность детали весом 500 Н, приняв центробежную силу равной 10% веса детали. Частота вращения детали 3000 об/мин.

**Решение.** Центробежная сила:

$$F = 500 \cdot 0,1 = \frac{500}{9,81} \left( \frac{3,14 \cdot 3000}{30} \right)^2 r$$

Отсюда, смещение центра тяжести, или допустимая остаточная неуравновешенность,  $r \approx 10^{-6} \text{ м} = 0,01 \text{ мм}$ .

**Пример 4.3.** Статическую балансировку детали весом 200 Н с диаметром шеек 40 мм предполагается проводить на призмах с шириной рабочей поверхности 3 мм. Определить пригодность призм для балансировки.

**Решение.** Напряжение смятия:

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,35PE}{bd}} = \sqrt{\frac{0,35 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{0,003 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}} = 7,65 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

Так как напряжение смятия на рабочей поверхности меньше допускаемого напряжения, призмы пригодны.

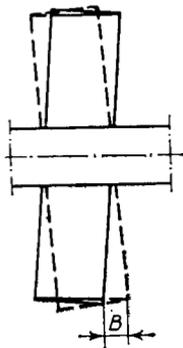


Рис. 4.24. Торцовое биение детали.

### 4.3. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ПРИ РЕМОНТНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Контрольные операции, выполняемые при монтаже и ремонте, во многом аналогичны. Основные контрольные операции связаны со сборкой оборудования, а контроль при монтажной сборке не отличается от контроля при ремонтной сборке. Однако специ-

фика такелажных работ обуславливает некоторые отличия контрольных операций при монтаже, так же как специфика технического обслуживания оборудования приводит к некоторому отличию контрольных операций при ремонте. В процессе межремонтного обслуживания выполняются операции по определению зазоров в сопряжениях. При дефектации деталей проводится измерение размеров детали и определение отклонений от первоначальной геометрической формы. Значительное количество деталей в сборочных единицах проверяется визуальным осмотром, при котором фиксируется состояние крепежных деталей, предохранительных механизмов, рабочих поверхностей, наличие трещин, следов коррозии, надломов. На слух определяется шум при работе машины, стуки в сочленениях. По уровню шума можно судить о работоспособности механизма, центровке отдельных узлов, возникших изменениях в зазорах. Для этой цели используется индикатор-стетоскоп, позволяющий производить диагностику работающих насосов, компрессоров, редукторов. Он состоит из акустического датчика, транзисторного усилителя с источником питания и головных телефонов. Принцип работы индикатора основан на распространении звука в металле.

Особая роль отводится контролю процессов сборки и контролю герметичности аппаратов.

При ремонте, в основном при дефектации, применяются следующие виды контроля: 1) внешний осмотр — выявление видимых повреждений; 2) обмер рабочих поверхностей — определение величины износа; 3) контроль взаимного расположения поверхностей — определение изгиба, коробления; 4) определение дефектов, невидимых глазом, цветной, ультразвуковой, магнитной дефектоскопией и гидравлическим испытанием.

При выполнении сборочных работ используется разнообразный измерительный инструмент и различные методы контроля. Кроме универсальных приборов применяются также специальные контрольные приспособления. В процессе сборки приходится осуществлять промежуточный контроль (пооперационный) и окончательный контроль, проводимый после монтажа.

Любая операция соединения узлов или деталей должна сопровождаться контролем. Иногда достаточно оказывается визуального контроля, в других случаях приходится использовать измерительный инструмент.

**Контроль геометрического положения.** Специальные методы контроля, применяемые при сборке оборудования, охватывают проверку следующих видов геометрического расположения деталей машины: 1) прямолинейность плоскостей и горизонтальность различных элементов; 2) параллельность осей и плоскостей; 3) перпендикулярность осей и плоскостей; 4) соосность деталей с осевой симметрией.

Для получения осевых линий, по которым измеряется взаимное положение узлов и деталей, применяется тонкая ( $d = 0,3 \div 0,5$  мм)

натянутая в виде струны стальная проволока. Для натяжки используют грузы по 100—200 Н. Блок, через который перекинута струна, с помощью суппортов может перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях (рис. 4.25).

Целесообразно установку струны осуществлять с помощью индикаторов часового типа, позволяющих производить точное смещение струны в двух плоскостях.

При определении горизонтальности пользуются линейкой и нивелиром или гидростатическим уровнем. Гидростатический уровень состоит из двух сообщающихся сосудов, соединенных резиновыми шлангами и заполненных подкрашенной жидкостью. Сосудами служат стеклянные трубки, на которые нанесены шкалы с делениями. Горизонтальность обеспечивается при равенстве столбов жидкости в трубках. Гидростатический уровень позволяет наметить горизонтальную линию, определить различие в высоте двух частей машины или двух половинок фундамента, наметить необходимый уклон трубопровода и т. д.

Негоризонтальность ситчатых тарелок уменьшает коэффициент массоотдачи из-за продольной и поперечной неравномерности работы тарелок, а также возрастания провала и уноса жидкости. Ниже представлены значения коэффициента массоотдачи в жидкой фазе  $K_{ж}$ , полученные для рабочих условий процесса, в зависимости от наклона тарелки  $\gamma$ :

$\gamma, ^\circ$	0	0,5	1	2	3
$K_{ж}, м/ч$	120	120	110	100	90

Эти данные показывают влияние точности контрольных операций на эффективность работы оборудования.

Проверка параллельности и перпендикулярности осей широко используется при сборке зубчатых, конических и цилиндрических передач. Параллельность осей и плоскостей проверяется с помощью струны и штихмасса.

При проверке параллельности валов на свободных их концах устанавливаются специальные стрелки и перпендикулярно осям валов натягивается струна (рис. 4.26). Сначала струна должна быть перпендикулярна оси одного вала. Для этого устанавливается размер  $A_1$  и после поворота вала с укрепленной на нем стрелкой на  $180^\circ$  подбирается размер  $A_2 = A_1$ . Равенство размеров достигается изменением положения струны. Затем определяются размеры  $B_1$  и  $B_2$  на втором валу. При  $B_1 = B_2$  валы будут параллельны.

Контроль перпендикулярности осей осуществляется теми же способами, что и их параллельность. Если валы, перпендикулярность осей которых проверяется, находятся в разных плоскостях, то перед измерением параллельно одному из валов натягивается струна в плоскости второго вала, а затем измеряется перпендикулярность струны и второго вала.

Для контроля формы станин, которые обычно являются базовыми деталями для сборки узлов, а также для контроля направляющих поверхностей станков проводят проверку плоскостности.

Проверка плоскостности детали с помощью струны заключается в натяжении струны над деталью таким образом, чтобы расстояния от струны до крайних точек детали были одинаковыми. Если при измерении в любой промежуточной точке расстояние от струны до детали окажется таким же, как и на краях, то деталь имеет удовлетворительную плоскостность. Измерение может проводиться в двух перпендикулярных направлениях. Для измерения используется штихмасс — измерительный прибор с микрометрической шкалой. Проверка плоскостности и прямолинейности дает возможность определить прогиб деталей машины от собственного веса или из-за дефектов при обработке поверхностей.

Кроме струны для проверки плоскостности используются линейки и плиты, одна из поверхностей которых обработана с высокой точностью и выполняет роль эталонной поверхности. При проверке контрольная линейка укладывается на проверяемую поверхность на две мерные подкладки, после чего измеряются расстояния до контролируемой поверхности в различных точках. Иногда контрольная линейка укладывается непосредственно на проверяемую поверхность с последующим определением с помощью щупа зазора между линейкой и поверхностью детали.

Точность измерения щупом равна 0,01 мм. Набор щупа содержит несколько пластин с различной толщиной, что позволяет комбинацией пластин определить величину отклонения от плоскостности.

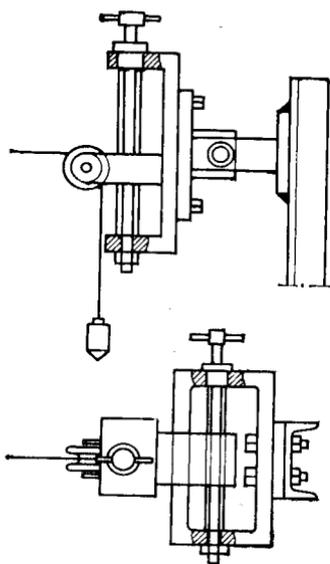


Рис. 4.25. Приспособление для натягивания струны.

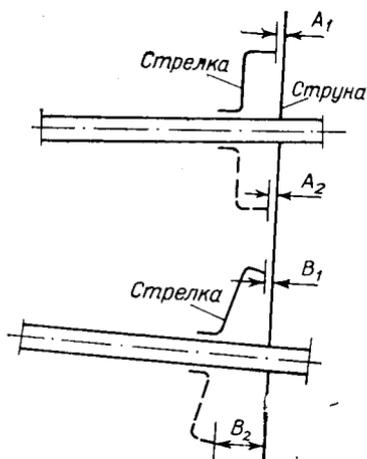


Рис. 4.26. Проверка параллельности валов.

Для измерения плоскостности используется также приспособление в виде плиты-основания с укрепленными на ней индикаторами. Четырьмя опорными винтами плита устанавливается на проверяемую поверхность. В основания винтов для повышения долговечности завальцованы шарики. После установки плиты снимаются показания индикаторов. Показания снимаются также при развороте приспособления на  $180^\circ$  или при установке приспособления на контрольной плите. По разнице показаний определяется отклонение от плоскостности.

Разновидностью проверки плоскостности является проверка равномерности прилегания. Равномерность прилегания наиболее часто контролируется для вала и вкладыша подшипника скольжения, т. е. для деталей цилиндрической формы. Проверка прилегания производится на краску при повороте вала на 1—1,5 оборота и оценивается количеством пятен на квадрате с размерами  $25 \times 25$  мм. Например, для подшипников компрессоров число пятен должно быть не менее 10. Общая площадь пятен должна превышать 35—40% всей поверхности прилегания.

Параллельность осей отверстий шатуна и их плоскостность проверяются на поверочной плите при помощи контрольных валков, вставленных в эти отверстия, и индикаторов. Один из валков устанавливают на призме. Поверочная плита используется также для проверки параллельности различных поверхностей детали с помощью индикаторов, закрепленных на стойке.

Соосность двух валов проверяется с помощью стрелок (рис. 4.27). Осевые и радиальные стрелки жестко крепятся с помощью хомутов на концах валов или, чаще, на полумуфтах, насаженных на валы.

Осевой *A* и радиальный *B* зазоры измеряются с помощью щупа в четырех положениях вала при его поворотах на  $90^\circ$ . При соосности радиальные и осевые размеры будут одинаковыми во всех положениях вала. Соосность валов может также проверяться с использованием индикаторов часового типа.

Менее точная проверка соосности осуществляется по наружной поверхности полумуфт с помощью металлической линейки и щупа. При соосности металлическая линейка должна ложиться без зазора на обе полумуфты. Расстояния между торцовыми поверхностями полумуфт в четырех точках, смещенных по окружности на  $90^\circ$ , должны быть одинаковы.

Соосность двух отверстий проверяется с помощью струны и штихмасса (рис. 4.28). Сначала струна устанавливается по оси одного отверстия. Для этого добиваются такого положения струны, когда четыре радиальных размера от нее до внутренней поверхности отверстия в двух плоскостях (*a*, *b*) будут равны. После этого проводят измерение четырех радиальных размеров (*c*, *d*) в двух плоскостях второго отверстия.

Центровку струны по осям осуществляют с помощью микрометрического штихмасса с опорной подставкой, которая придает

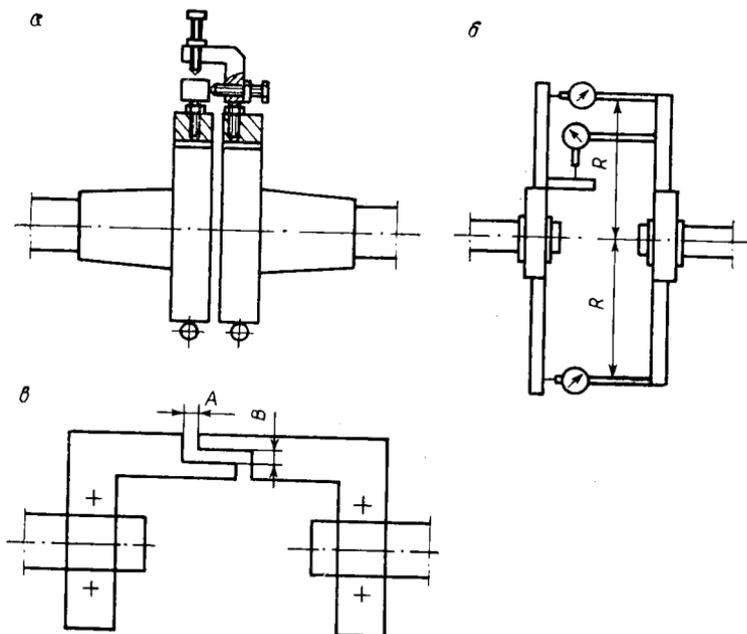


Рис. 4.27. Проверка соосности валов:  
 а — центровка валов по полууфтам; б — центровка с использованием индикаторов;  
 в — схема измерения.

ему устойчивость против качания вдоль струны (рис. 4.29). Замеры выполняются с помощью электроакустического метода. Штихмасс и струна включаются в электрическую цепь. В момент касания штихмасса со струной цепь замыкается и в наушниках слышен треск. Для повышения точности центровки штихмасс необходимо устанавливать в определенных отмеченных точках поверхности.

Подобным же образом проверяют вращающиеся детали на биение. При посадке на вал крупногабаритных деталей (шкивы, шестерни, маховики) биение возможно вследствие искривления вала, несоосности детали и вала или неточности изготовления детали. При вращении детали индикаторами проверяется биение радиальных и торцовых поверхностей. Для выявления дефекта

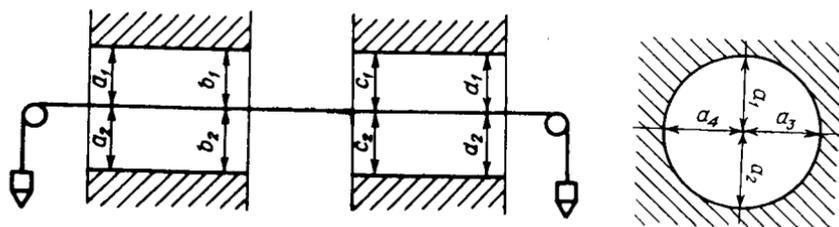


Рис. 4.28. Проверка соосности отверстий.

сначала индикаторами проверяется биение вала, а затем соосность поверхностей детали.

Правильность касания рабочих поверхностей зубьев колес проверяется по краске в местах контакта (см. рис. 4.14). Радиальный и боковой зазоры в передачах с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами проверяются с помощью щупа или свинцовой проволоки.

Проверка зазоров в подшипниках качения осуществляется индикатором. Для этого внутреннее кольцо устанавливают на оправку. К наружному кольцу подводят измерительный штифт индикатора, а с противоположной стороны прикладывают силу, полностью «выбирающую» люфт. Отклонение стрелки индикатора даст величину радиального зазора.

При проверке осевого зазора измерительный штифт индикатора подводят к торцу наружного кольца. С противоположной стороны легким усилием перемещают кольцо на полную величину люфта. Отклонение стрелки индикатора даст величину осевого зазора.

**Дефектация.** В процессе разборки оборудования проводится трехступенчатая дефектация, завершающаяся оформлением дефектной ведомости и составлением схем и эскизов дефектных деталей. Предварительная дефектация осуществляется перед установкой оборудования на ремонт. При разборке ведется поузловая, а затем и поддетальная дефектация.

Целью предварительной дефектации является выявление наиболее вероятных мест нарушения правильности сопряжения сборочных единиц и деталей между собой. При этом анализируются записи в ремонтных журналах и ремонтных картах. При предварительной дефектации проводится наблюдение за фактическими функциональными показателями работоспособности машины или аппарата, проверка температуры нагрева узлов трения, проверка вибраций, ударов, характера стуков и т. д.

При поузловой дефектации выявляются отклонения узлов от заданного взаимного положения.

При поддетальной дефектации определяется возможность повторного использования деталей и характер требуемого ремонта. Осуществляется сортировка деталей на следующие группы: 1) детали, имеющие износ в пределах допуска и годные для повторного использования без ремонта; 2) детали, имеющие износ выше допуска, но пригодные для ремонта; 3) детали, имеющие износ выше допуска и непригодные к ремонту.

Для определения состояния деталей применяются внешний осмотр, обмер, а также методы, которые позволяют обнаружить

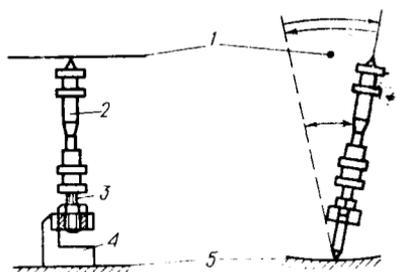


Рис. 4.29. Штихмасс с подставкой:  
1 — струна; 2 — микрометрическая головка; 3 — винт; 4 — опорная подставка; 5 — цилиндр.

скрытые дефекты (магнитная и ультразвуковая дефектоскопия, и рентгенография).

Внешний осмотр позволяет выявить видимые пороки деталей: наружные трещины, изгибы, задиры, выкрашивание или износ антифрикционного слоя, срыв резьбы, коррозию и т. д. Осмотр завершается обмером с помощью измерительного инструмента.

Отклонения геометрической формы цилиндрических деталей проявляются в нецилиндричности или некруглости (овальность, огранка), а также в отклонении профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность).

Овальность определяется разностью диаметров, измеренных во взаимно перпендикулярных направлениях:

$$\Delta_{\text{ов}} = d_{\text{макс}} - d_{\text{мин}}$$

Конусообразность определяется разностью диаметров, измеренных на заданной длине:

$$\Delta_{\text{кон}} = \frac{d_{\text{макс}} - d_{\text{мин}}}{L}$$

Высокие требования к овальности и конусообразности предъявляются для шеек быстроходных валов, вращающихся в подшипниках скольжения, для шеек коленчатых валов, отверстий головок шатуна, поршней и поршневых колец.

Мелкие трещины выявляются методом цветной дефектоскопии, сущность которого заключается в следующем. На поверхность детали, очищенной ацетоном или бензином, наносятся кистью или пульверизатором 3—4 слоя проникающего раствора, подкрашенного анилиновым красителем (15 г красителя «Судан-III» на 1 л раствора). Мелкие детали погружаются в красящий раствор. Раствор под действием капиллярных сил проникает в дефектные места детали. Затем контролируемая деталь промывается 5% раствором кальцинированной соды и вытирается насухо. На очищенную поверхность кистью или пульверизатором наносится тонкий слой белого абсорбирующего покрытия, имеющего следующий состав: 0,6 л воды, 0,4 л этилового спирта, 300—350 г каолина или мела. Жидкость, выделяющаяся из поверхностных дефектов под действием абсорбирующего покрытия, окрашивает его в красный цвет с появлением красных пятен или полос. Этот метод дает возможность обнаружить поверхностные дефекты размером до 0,01 мм при глубине 0,03—0,04 мм. Однако глубину трещин цветной дефектоскопией определить нельзя. Контроль проводится невооруженным глазом или с помощью лупы 5—7-кратного увеличения. Применяется цветная дефектоскопия для углеродистых, а также нержавеющей сталей, у которых образование мелких трещин от коррозионного растрескивания наблюдается около сварных швов.

Кроме цветной дефектоскопии может использоваться люминесцентная. Метод люминесцентной дефектоскопии требует приме-

нения люминесцентного дефектоскопа или переносных ртутно-кварцевых приборов типа ЛЮМ-1, ЛЮМ-2 и т. д. Метод основан на введении в полость дефектов люминесцентного вещества с последующим облучением поверхности детали ультрафиолетовыми лучами. Под воздействием этих лучей дефекты становятся видимыми вследствие люминесценции вещества. Метод позволяет выявлять поверхностные дефекты шириной не менее 0,01 мм и глубиной не менее 0,02 мм в деталях любой геометрической формы.

Последовательность операций при люминесцентной дефектоскопии следующая: 1) очистка поверхности от загрязнений; 2) нанесение проникающего люминесцентного состава; 3) нанесение проявляющего порошка; 4) осмотр детали в ультрафиолетовых лучах. Можно применять люминесцентный состав: керосин — 55—75%; вазелиновое масло — 15—20%; бензол или бензин — 10—20%; эмульгатор ОП-7 — 2—3 г/л; дефектоль зелено-золотистый — 0,2 г/л. Проявляющими порошками служат углекислый магний, тальк или силикагель. Данный метод позволяет также обнаружить поверхностные дефекты в магнитных и немагнитных материалах, однако необходимость использования стационарного дефектоскопа ограничивает применение этого метода в химической промышленности.

Другие методы проверки (магнитная и ультразвуковая дефектоскопия, а также рентгеновские способы) используются в тех случаях, когда при внешнем осмотре детали возникают подозрения о наличии скрытого порока и когда эта проверка предусмотрена правилами ремонта, в частности при дефектации аппаратов, подлежащих проверке по правилам Госгортехнадзора.

Магнитная порошковая дефектоскопия основана на выявлении магнитного поля рассеяния над дефектом. При этом в качестве индикатора используются ферромагнитные частицы. Силовые линии в намагниченной детали огибают дефект как препятствие, имеющее малую магнитную проницаемость. Необходимым условием для выявления дефекта является перпендикулярное расположение дефекта к направлению магнитного поля. Поэтому деталь необходимо проверять в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Магнитный порошок приготавливается из сухого мелко-размолотого железного сурика или из чистой железной окалины. Окалина измельчается в шаровой мельнице и просеивается. Мельчайшие частицы железного порошка, нанесенные на деталь пылевидным слоем (сухой метод) либо в виде водной или масляной суспензии (мокрый метод), концентрируются над трещиной и этим ее обнаруживают. При трещине шириной менее  $10^{-4}$  м поле рассеяния не образуется. Аналогично, когда дефект располагается на глубине более 6 мм под поверхностью, поле рассеяния исчезает.

Для получения 1 л водной суспензии разводят 15—20 г олеинового, ядрового или хозяйственного мыла в небольшом количестве теплой воды, затем добавляют 50—60 г магнитного порошка

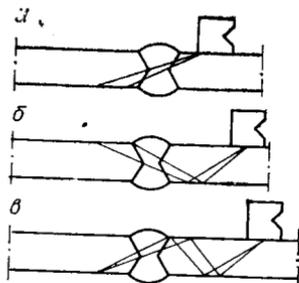


Рис. 4.30. Ультразвуковой способ контроля:

а — прямым лучом; б — однократно отраженным лучом; в — двукратно отраженным лучом.

и смесь тщательно растирают в ступе. После этого доливают горячую воду до 1 л. Для проведения контроля применяются специальные магнитные дефектоскопы.

Простейший дефектоскоп состоит из П-образного сердечника с катушкой (соленоидом), устанавливаемого непосредственно на проверяемую поверхность. Поверхность замыкает магнитный контур сердечника, благодаря чему появляется возможность обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов. Контроль крупных деталей ведется по участкам. Рентгеновские методы контроля требуют подхода к детали с двух сторон.

С одной стороны подводится переносной рентгеновский аппарат, а с другой стороны — кассета с пленкой. Это не всегда оказывается возможным для некоторых аппаратов; например, контроль толщины трубок в теплообменнике с жесткой трубной решеткой этим методом провести невозможно.

Наибольшее распространение в ремонтной практике получили ультразвуковые дефектоскопы, которые позволяют: 1) определять дефекты сварных швов любого вида (стыковых, внахлестку, угловых, тавровых) благодаря использованию прямого, отраженного или двукратно отраженного луча (рис. 4.30); 2) выявлять внутренние дефекты (раковины, расслоения); 3) измерять толщину стенок аппаратов и трубопроводов при одностороннем доступе к ним.

Для контроля толщины стенок аппаратов, находящихся в рабочем состоянии, осуществляется настройка дефектоскопа по образцу с параллельными поверхностями из этого же металла известной толщины. Ультразвуковые дефектоскопы позволяют определять размеры дефекта и глубину его залегания. Толщина контролируемых деталей может составлять 1—2000 мм, минимальный размер определяемого дефекта — 1 мм<sup>2</sup>.

Принцип действия ультразвукового дефектоскопа основан на отражении импульса от границы раздела сред. Контролируемая поверхность должна иметь чистоту обработки не менее третьего класса шероховатости и покрываться консистентной смазкой (автол, тавот, масло) для создания акустического контакта. Ультразвуковые колебания передаются от искательной головки изделию только через слой контактной смазки.

Ультразвуковые дефектоскопы имеют малые габариты и малый вес, однако они неприменимы для контроля нержавеющей сталей. Крупнозернистая структура нержавеющей и легированных сталей приводит к тому, что отражение импульса от крупных зерен создает помехи, из-за которых трудно определить отражение импульса от дефекта. Для контроля нержавеющей сталей используется цветная дефектоскопия, рентгено- и гамма-просвечивание.

Описанные методы контроля требуют определенных навыков и знания приборов, поэтому дефектоскопию проводят только работники дефектоскопических лабораторий.

Ответственной контрольной операцией является проверка сварных швов. Контроль качества сварных швов осуществляется гамма-дефектоскопами, рентгеновскими установками, магнитными дефектоскопами, ультразвуковыми приборами.

При проверке аппаратов, работающих под давлением, необходимо контролировать все сварные швы. Часть оборудования высокого давления подвергается комплексному контролю, сочетающему два-три метода дефектоскопии. Например, для колонной аппаратуры используются ультразвуковой и цветной методы, а также магнитнопорошковая дефектоскопия

Если доступ к сварному шву возможен только с наружной или только с внутренней стороны аппарата, испытание на плотность проводится методом вакуумирования сварных швов. Сварной шов смачивается мыльным раствором. На исследуемый участок накладывается коробка, имеющая по всему периметру уплотнение из губчатой резины. Коробка соединяется с вакуум-насосом, а через смотровое стекло, смонтированное на коробке, или через стенки коробки, если она изготовлена целиком из оргстекла, ведется наблюдение за сварным швом. Наличие мыльных пузырей указывает на дефекты сварки. Этот способ проверки применяется также при контроле сварки отдельных листов крупных резервуаров.

Если ультразвуковой контроль позволяет проводить локальные измерения, то гамма-дефектоскопия дает возможность получить панорамный снимок контролируемого места.

Наиболее часто применяемые схемы для просвечивания сварных швов гамма-дефектоскопами представлены на рис. 4.31.

Стыковые соединения просвечиваются по нормали к плоскости свариваемых элементов (рис. 4.31, *а*). Швы нахлесточных, угловых и тавровых соединений просвечиваются с направлением луча под углом  $45^\circ$  к плоскости листа (рис. 4.31, *б—д*). Трубы большого диаметра просвечиваются через одну стенку так, чтобы направление пучка было перпендикулярно шву (рис. 4.31, *ж* и *з*), источник излучения при этом устанавливается снаружи или внутри трубы. Трубы малого диаметра просвечиваются через две стенки (рис. 4.31, *е*). Чтобы избежать наложения изображений швов, расположенных на диаметрально противоположных концах сечения трубы, источник излучения сдвигается из плоскости сварного шва.

Дефектоскопы применяются для контроля ответственных швов листовых конструкций и трубопроводов. Источником излучения в гамма-дефектоскопах являются изотопы: селен-75, иридий-192, цезий-137 и др. Для крепления гамма-дефектоскопов на контролируемых конструкциях используются специальные устройства — штативы, зажимы, передвижные тележки.

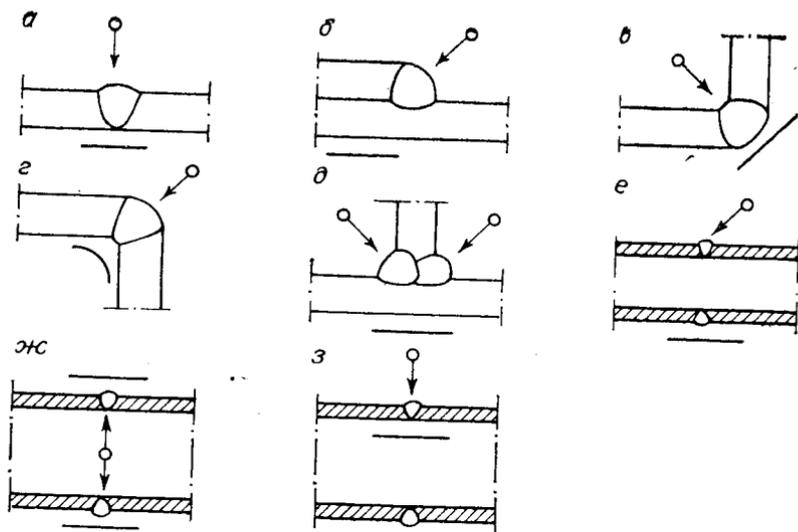


Рис. 4.31. Просвечивание сварных швов гамма-дефектоскопом.

Работа с гамма-дефектоскопами требует особых мер предосторожности. Для хранения изотопов оборудуется специальное помещение (ампулохранилище). Для проявления снимков необходима фотокомната, для перевозки гамма-дефектоскопов — специальные машины. По этим причинам гамма-дефектоскопия используется в основном на монтажных работах, когда количество контролируемых сварных швов очень велико. Лаборатория гамма-дефектоскопии создается в монтажном тресте и по графику осуществляет работы с охватом всех монтажных управлений треста.

Ультразвуковые течеискатели используются при проведении пневмоиспытаний. Работа тепловых резисторных течеискателей основана на измерении разности теплопроводностей газов. Забор газа осуществляется ручным вакуум-насосом. Газ проходит около теплового датчика, являющегося одним из плеч моста. Вторым плечом служит датчик, помещенный в воздухе. Тепловой течеискатель недорог и долговечен; он позволяет обнаружить утечки  $(2 \div 4) \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/ч в зависимости от теплопроводности газа.

Галогенные течеискатели применяются для обнаружения галогенов в основном в холодильных установках. Пламя горелки окрашивается при наличии галогена, который засасывается через трубку.

**Испытания.** Сборка машины или аппарата заканчивается испытаниями: 1) на прочность и плотность; 2) в режиме холостого хода; 3) под нагрузкой, имитирующей рабочий режим.

Величина испытательного давления на прочность зависит от рабочего давления и температуры. Испытание на прочность может быть гидравлическим или пневматическим. Для аппаратов, ра-

ботающих под рабочим давлением  $P \geq 0,5$  МПа, величина контрольного давления на прочность составляет  $1,25P$ .

Испытанию на плотность подвергаются аппараты, предназначенные для работы с горючими, взрывоопасными и токсичными продуктами.

Контрольное давление при испытании на плотность должно быть равно рабочему давлению. Испытание на плотность проводят воздухом или инертным газом.

Качество сварных швов в аппаратах, работающих под атмосферным давлением, проверяется смачиванием керосином, а прочность самих аппаратов испытывается водой под наливом. С одной стороны сварной шов покрывают меловой обмазкой, а с другой — керосином. Вследствие проникающей способности керосина при наличии неплотностей в сварном шве (свищи, поры, трещины, шлаковые включения) на высушенной меловой обмазке появится жирное керосиновое пятно. Время проведения испытания — от 1 до 24 ч.

Аппараты, работающие под избыточным давлением до  $7 \cdot 10^4$  Па, испытываются давлением, указанным в чертежах. Аппараты, имеющие рабочую температуру стенки выше  $400^\circ\text{C}$ , подвергаются гидравлическому испытанию при давлении, превышающем рабочее не менее чем в 1,5 раза. Вакуум-аппараты испытываются гидравлически на прочность избыточным давлением 0,2 МПа и на плотность пневматически избыточным давлением 0,1 МПа.

Контроль утечек при испытании на плотность может быть выполнен промазкой мыльной пеной предполагаемых мест утечки. В дефектных местах при испытании появляются мыльные пузыри. Мыльной пеной промазываются также фланцевые соединения. Часто вместо мыльной пены с успехом применяется латекс, обладающий хорошей вспениваемостью и высокой устойчивостью пены. Кроме мыльной пены может использоваться обмазка следующего состава: поверхностно-активное вещество ОП-7 (ОП-10) — 20—35%; машинное или вакуумное масло либо глицерин — 15—20%; зубной порошок — 10%; вода — остальное. Достоинством этой обмазки является высокая устойчивость образующейся пены, пена сохраняется в течение 0,5—1,0 ч. Эта обмазка безопасна в обращении, неядовита, легко смывается водой.

Оборудование для проведения гидравлического испытания состоит из опрессовочных агрегатов, манометра, воздушного крана, запорной арматуры, инвентарных заглушек. Для опрессовки применяются поршневые, плунжерные или шестеренчатые насосы. При испытании аппарат заполняется водой, а воздушный кран, находящийся в верхней точке аппарата, остается открытым до тех пор, пока в нем не появится вода. Затем давление поднимается до контрольного, и аппарат выдерживается при этом давлении в течение 5 мин. Далее давление снижается до рабочего значения и проводится осмотр сварных швов. Если на сварных и фланцевых соединениях и сальниках не обнаружено течи и отпотевания и не

наблюдалось падение давления по манометру, то считается, что аппарат выдержал испытание.

Для создания давления при проведении испытания может использоваться емкость, имеющая поршень с манжетой или сальником и винтовым прижимом поршня.

При невозможности гидравлического испытания (большой объем аппарата и, соответственно, большая нагрузка на опоры от веса воды, внутренняя футеровка, отрицательная температура окружающего воздуха, отсутствие воды) разрешается проводить пневматическое испытание на такое же пробное давление, как и при гидравлическом испытании.

При пневматических испытаниях принимаются дополнительные меры безопасности: вентиль и манометр, находящиеся на трубопроводе, подводящем воздух от компрессора, выносятся за пределы помещения, в котором находится испытываемый аппарат, люди удаляются в безопасные места, зона испытания ограждается.

Эти же меры предосторожности соблюдаются при испытании на плотность. Испытание на плотность иногда предусматривается техническими условиями на аппарат как дополнительный вид испытания. Проводится оно обязательно после испытания на прочность.

Перед установкой аппарата на испытание необходима следующая документация: дефектная ведомость; технология ремонта; сертификат на материалы; сертификат на электроды; акт на просвечивание и качество сварных соединений; акт замера толщины стенок; акт на испытание; копия удостоверения сварщика.

Сначала проводится гидравлическое испытание, которому подлежат все сосуды после ремонта, если в них осуществлялась замена отдельных частей корпуса, врезка штуцеров, выправление вмятин, сварка на корпусе аппарата.

Вода, применяемая для гидравлического испытания аппаратов и их элементов, должна иметь температуру не ниже 5 °С и не выше 40 °С.

Гидравлическое испытание считается успешным, если не обнаружено течи и потения в сварных соединениях и на основном металле, а также видимых остаточных деформаций.

Испытание на герметичность является дополнительным пневматическим испытанием на плотность с определением падения давления за время испытания. Допустимое падение давления определяется проектом, а при отсутствии указаний в проекте для вновь устанавливаемых аппаратов с токсичными средами должно составлять не более 0,1% в 1 ч, с пожаро- и взрывоопасными средами — не более 0,2% в 1 ч, для всех аппаратов, подвергаемых повторному испытанию, — не более 0,5% в 1 ч. Длительность испытания на герметичность должна составлять не менее 24 ч для вновь установленных аппаратов и не менее 4 ч при повторных испытаниях.

Гидравлическое испытание торцовых уплотнений проводится на стенде, состоящем из ручного плунжерного насоса и несущей панели с вмонтированными в нее стаканами, к которым крепятся торцовые уплотнения. На таком стенде одновременно может испытываться несколько уплотнений различных типов.

Следующее испытание — на холостом ходу — проводится в течение нескольких часов (2—24 ч) с целью проверки работы всех узлов. При этом проверяется общий характер работы оборудования, отсутствие толчков, ударов, вибрации, поведение систем смазки и охлаждения, а также измеряется температура нагрева подшипников, которая не должна превышать 60 °С.

Испытание под нагрузкой длится в течение нескольких смен. При этом виде испытаний проверяются работоспособность оборудования и параметры работы при режиме, близком к рабочему.

После окончания испытаний, устранения замеченных дефектов и при наличии всей документации на проведенный ремонт, оформляется акт на сдачу аппарата из ремонта. После его подписания аппарат может быть введен в промышленную эксплуатацию.

Контроль положения аппарата на фундаменте используется в основном при монтаже оборудования и реже при ремонте, когда производится установка нового или отремонтированного оборудования. Выверка оборудования в плане после установки на фундаменте осуществляется от струн и отвесов, выверка по высоте — нивелирами и теодолитами, выверка по горизонтали — уровнем и линейкой.

При монтаже металлоконструкций кривизна ферм определяется струной и линейкой, вертикальность ферм и колонн — теодолитом, высотные отметки — нивелиром.

Для применения уровней при выверке оборудования требуется свободная базовая поверхность, а для использования оптических приборов — еще и свободное пространство по линии визирования. По этой причине при монтаже оборудования иногда разбирается для того, чтобы базовая поверхность оказалась открытой. С теодолитом работают геодезисты или монтажники, обученные по 30-часовой программе практическому применению геодезических инструментов.

Контроль при подъеме аппаратов осуществляется с использованием следующих приборов: теодолитов — для контроля отклонений аппарата из плоскости подъема и проверки вертикальности поднятых аппаратов; динамометров и съемных электродинамометров — для контроля усилий в канатах; анемометров — для измерения скорости ветра; бинокля — для осмотра с расстояния узлов привязки расчалок.

#### 4.4. МЕХАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Основными особенностями ремонта являются разнообразие организационных форм и технологических процессов, распыление фронта работ, экономическая нецелесообразность использования универсальных приспособлений, применяемых при изготовлении машин в машиностроении. Все это приводит к определенным трудностям в организации работ, подготовке фронта работ, в области транспорта, материального снабжения, подготовке технической документации.

Низкое качество ремонта объясняется отсутствием необходимого технологического оборудования, недостаточным ассортиментом материалов, используемых для изготовления запчастей, нехваткой квалифицированного персонала. Повышение эффективности ремонтных служб достигается совершенствованием организации и технологии ремонтных работ. К числу технических мероприятий, повышающих экономические показатели ремонта, относятся использование прогрессивных методов ремонта и восстановления деталей и механизация ремонтных работ. Механизация позволяет повысить производительность труда при единичном и мелкосерийном производстве (а таким и является ремонтное производство) путем применения определенных приспособлений. К числу наиболее часто применяемых относятся следующие приспособления: 1) передвижные механизмы для погрузо-разгрузочных работ; 2) универсальные стенды с быстродействующими пневматическими зажимами — для ремонта арматуры; 3) универсальный гидропресс — для опрессовки арматуры; 4) стенды для испытания пружин предохранительных клапанов на статическое сжатие; 5) притирочные станки для притирки уплотнительных поверхностей арматуры; 6) стенды для разборки-сборки поршневой группы компрессорного оборудования; 7) стенды для разборки роторов центробежных насосов; 8) гидропресс для запрессовки-выпрессовки втулок; 9) стенд для испытания прямооточных клапанов; 10) манипуляторы-вращатели для наплавки цилиндрических деталей; 11) универсальные штампы для изготовления клапанных пластин; 12) пневматические и электрические гайковерты; 13) гидравлические приспособления для разжима фланцевых соединений трубопроводов; 14) передвижные установки для термообработки сварных швов; 15) пресс с набором матриц и пуансонов для изготовления прокладок.

Большинство из этих приспособлений описывается в соответствующих разделах данного учебного пособия. Здесь же рассматриваются приспособления общего назначения для выполнения слесарных работ.

Универсальная подставка для вращения ремонтируемой детали имеет две опоры с роликами из шарикоподшипников. После разворота детали фиксация подшипников осуществляется винтами.

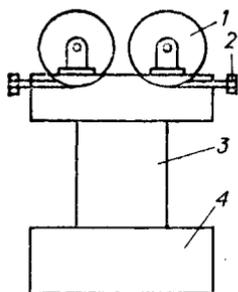


Рис. 4.32. Универсальная подставка:  
1 — ролик; 2 — стопорный винт; 3 — стойка; 4 — опора.

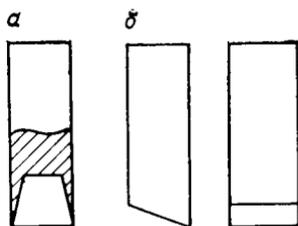


Рис. 4.33. Просечки:  
а — для круглых отверстий; б — для квадратных отверстий.

Для регулировки подставки по высоте стойки делаются винтовыми (рис. 4.32).

Винтовой зажим (струбцина), вращающийся на оси, используется при ремонте деталей, требующих частого переворачивания.

Вакуумные захваты представляют собой пустотелые башмаки, плотное прилегание которых к поднимаемой детали обеспечивается неопреновыми манжетами. При подъеме длинномерных грузов, например плетей трубопроводов, захваты соединяются траверсой.

Для нажатия на дрель используется винтовое приспособление, которое с помощью цепи захватывается за деталь, а затем при вращении рукоятки создается усилие на дрель.

Для того чтобы не держать на весу тяжелые инструменты, применяются телескопические регулируемые по высоте стойки.

Пневмошлифовальные машинки обладают надежностью и безотказностью в работе, нечувствительностью к перегрузкам. Они имеют встроенный в корпус пневматический ротационный двигатель, работающий от сжатого воздуха давлением не ниже 0,5 МПа. Удельный износ шлифовального круга (износ на единицу снятого металла) уменьшается при увеличении окружной скорости круга.

Пробивка отверстий в листовых материалах осуществляется с помощью просечек. Круглые отверстия вырезаются одновременно по всему периметру, а квадратные — сначала по передней грани, затем по боковым граням и, наконец, по задней грани отверстия (рис. 4.33).

Для разметки отверстий во фланцах применяются разнообразные приспособления. На рис. 4.34 показано приспособление, изготовленное с использованием трехкулачкового патрона. На патроне имеется два ряда отверстий: 24 отверстия в одном ряду и 30 отверстий в другом. Ползун с керном настраивается на необходимый диаметр, патрон фиксируется и ударом молотка наносится первая точка. После того как патрон повернется на

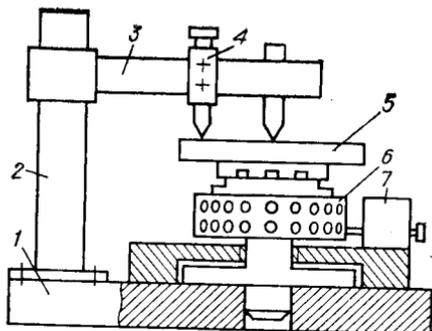


Рис. 4.34. Приспособление для разметки отверстий во фланцах:

1 — основание; 2 — стойка; 3 — линейка; 4 — ползун с керном; 5 — фланец; 6 — трехкулачковый патрон; 7 — фиксатор.

баются зубилом; при этом во избежание надрыва прокладки вырубка осуществляется сначала по внутреннему, а затем по наружному диаметру.

необходимое число отверстий, наносится следующая точка. Аналогично устроены приспособления, в которых вместо трехкулачкового патрона применяется планшайба.

При замене паронитовых прокладок новые прокладки вырезаются с помощью пресса или роликовых ножей. Прокладки малого размера вырезаются с помощью станочного приспособления, а большого размера — на приспособлении с ручным приводом. При необходимости прокладки выру-

#### 4.5. РЕМОНТ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

К корпусным относятся базовые детали — корпуса аппаратов и станины машин. Для корпусных деталей характерны следующие повреждения: 1) механические повреждения в виде трещин, обломов, отгибов, а также наличие оставшихся в резьбовом отверстии частей оборванной шпильки; 2) износ посадочных поверхностей под подшипники и втулки, износ резьб, износ рабочих поверхностей с подвижными посадками; 3) коробление привалочных поверхностей, нарушение взаимного положения осей отверстий; 4) коррозионный износ в виде местного уменьшения толщины стенки; 5) отслоение и вздутие лакирующего слоя; 6) водородная коррозия, которая не обнаруживается при визуальном осмотре и может быть выявлена при вырезке образца и исследовании структуры металла.

Трудности в применении единой технологии ремонта корпусных деталей связаны с широким ассортиментом сталей, применяемых для изготовления корпусов. В реальных условиях производства наиболее приемлемой оказывается наварка мест выработки без последующей термообработки, что приводит к охрупчиванию околшовной зоны основного металла и появлению локальных сварочных напряжений.

**Ремонт корпуса аппарата.** Ремонт начинается с внешнего осмотра. Результаты осмотра отражаются в протоколе и схеме расположения дефектов и повреждений. При отсутствии видимых дефектов и повреждений может осуществляться выборочный магнитный и ультразвуковой контроль. При наличии механических

повреждений и трещин проводится выборка дефектного металла шлифовальной машинкой с периодическим магнитным контролем. Образовавшееся при этом сферическое углубление разделяется до получения плавных переходов, после чего проводится ультразвуковой контроль металла в зоне повреждения и вокруг нее.

Ультразвуковой контроль наружной или внутренней поверхности корпуса осуществляется дефектоскопом. При необходимости для выяснения характера и размеров внутренних дефектов ультразвуковой контроль дополняется рентгеновским или гамма-лучевым просвечиванием.

Для определения характера поверхностных дефектов и исследования микроструктуры непосредственно на аппаратах используется переносной микроскоп.

Возможны следующие способы восстановления корпуса: 1) снятие поверхностного наклепа с поврежденного места и скругление дефектного места с плавным переходом на поверхность корпуса для снижения концентрации напряжений; 2) разделка повреждений или расточка отверстий до неповрежденного металла с последующей компенсацией ослабленного места при помощи электросварки; 3) удаление поврежденной царги с последующей вваркой новой царги или стыковкой и сваркой за счет уменьшения длины корпуса.

Первый из указанных выше способов исключает применение сварки и может быть назначен только в том случае, если напряжение на дне сферического повреждения будет ниже допустимого. Учитывая, что повышение напряжения в данном случае является местным, допустимый запас прочности может быть принят равным 1,4—1,5.

Технология ремонта корпуса сваркой заключается в следующем.

1. Поврежденные места, подлежащие сварке, тщательно обрабатываются шлифовальным камнем до удаления всех дефектов и придания им формы с плавными переходами. При наличии сквозных повреждений они растачиваются.

2. Обработанные места подвергаются магнитному и ультразвуковому контролю для выявления дефектов. При необходимости проводятся металлографические исследования.

3. Поврежденные участки заправляются в горизонтальном положении изделия с подогревом до 300—350 °С. Подогрев осуществляется электрическими печами сопротивления. Сквозные повреждения заправляются на подкладках. Заплавка выполняется на постоянном токе. Режимы заплавки — общепринятые для соответствующей марки электрода, его диаметра и материала корпуса.

4. После окончания сварки проводится немедленная термообработка в режиме высокого отпуска: нагрев до 650—680 °С и выдержка при этой температуре из расчета 7 мин на 1 мм

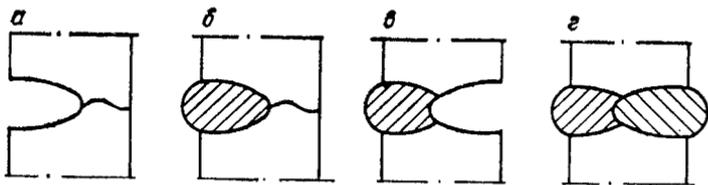


Рис. 4.3 . Двусторонняя заварка дефекта.

толщины наплавки. Термообработка выполняется в малогабаритной газовой печи. Печь позволяет обработать за одну установку участок корпуса длиной до 3 м.

Удаление дефекта осуществляется огнем или механическим способом (засверловка, вырубка, обработка абразивным кругом, кислородная и плазменная резка). Форма разделки должна иметь плавные переходы к поверхности основного металла.

Дефектные участки, требующие двусторонней разделки, могут исправляться в следующей последовательности (рис. 4.35): производятся разделка дефектного участка с одной стороны (а) и его заварка (б), разделка дефектного участка с другой стороны с обязательным удалением корня первого шва (в) и заварка разделки (г). Возможна одновременная разделка с двух сторон и заварка последовательно с каждой стороны.

Ремонт дефектных участков корпуса аппаратов, неподведомственных Госгортехнадзору, осуществляется путем вырезки дефектного участка и постановки и приварки встык нового элемента. Форма вырезаемого участка должна быть круглой, овальной, эллипсной или прямоугольной со скругленными углами при радиусе закругления не менее 50 мм. Ширина вырезаемого участка должна быть не менее 250 мм.

Вырезка двухслойной стали ведется со стороны углеродистого металла. При необходимости резки со стороны плакирующего слоя в облицовке предварительно прорубается канавка, через которую осуществляется вырезка углеродистой стали. В противном случае разрез получается грязным и с большими наплывами.

В качестве антикоррозионных покрытий для химической аппаратуры используются металлы, неметаллические материалы неорганического и органического происхождения, полимерные и лакокрасочные покрытия.

Ремонт аппаратов, футерованных изнутри свинцом, титаном, медью, кислотостойкой сталью, производится удалением поврежденной и установкой новой футеровки. Для выполнения работ аппарат должен иметь люки и крышки. Иначе для замены футеровки аппарат приходится разрезать, а затем снова сваривать.

Футеровка аппарата состоит из отдельных листов, сваренных продольными и кольцевыми швами. В зоне сварного шва возможна установка кольцевых и продольных подкладок. Износ футеровки проявляется в нарушении ее сплошности, образовании трещин и сквозных коррозионных отверстий. Ремонт футеровки

осуществляется подваркой поврежденных участков либо заменой отдельных участков или целых поясов футеровки.

Наиболее подвержены коррозии сварные швы футеровки. Если шов выполнен с применением подкладных полос, то ремонт его производится подваркой. Заварка сквозного дефекта футеровки при отсутствии подкладных полос сложнее, так как необходимо избежать проварки футеровки с материалом корпуса колонны.

При наличии сквозного дефекта футеровки коррозии подвергается примыкающий участок корпуса аппарата. Корпус аппарата восстанавливается наплавкой дефектного участка с предварительной очисткой его от ржавчины шлифовальной машинкой и проверкой на отсутствие трещин. Сварка футеровки из нержавеющей стали ведется с предварительным подогревом. Для этого используется приспособление в виде нескольких рядов газовых горелок. Для фиксации старой футеровки, а также новых элементов футеровки (вставок) используются разжимные кольца. Подготовка кромок вставки и старой футеровки показана на рис. 4.36. Такой способ подготовки применяется при отсутствии подкладных полос. Кромка старой футеровки разделяется для получения технологического уса длиной 5 мм и толщиной 1 мм. Технологический ус при сварке выполняет роль подкладной полосы. Плотное прижатие вставки к корпусу и старой футеровке осуществляется с помощью разжимных винтов. Таким образом, швы варятся на подкладных полосах и на технологических усах; швы без подкладок варятся вне колонны.

Если элемент футеровки в виде царги предварительно изготавливается точно по корпусу аппарата, то в аппарат он вводится с продольным гофром, позволяющим уменьшить диаметр царги. После введения царги гофр выправляется гидравлическим домкратом. При стыковке царг друг с другом припуск царг по длине обрезается абразивным кругом.

При замене медной футеровки старые листы срубуются. Углубления, появляющиеся на корпусе в местах приварки футеровки к корпусу вследствие отломов хрупкого слоя, наплавляются. Новые медные листы вводятся в реактор, свариваются друг с другом и привариваются к корпусу аргодуговой сваркой с применением присадочной проволоки.

Уплотнительная поверхность горловины аппарата изнашивается также из-за коррозии. Ее восстанавливают подваркой или заменой уплотнительной гильзы.

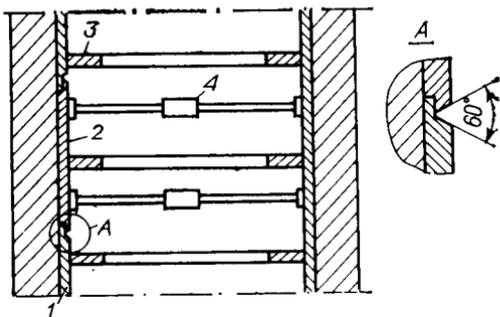


Рис. 4.36. Установка вставки:  
1 — футеровка; 2 — вставка; 3 — разжимные кольца; 4 — разжимные винты.

Ремонт футеровки колонн осуществляется без их демонтажа. Для проведения ремонтных работ используется подвесная площадка. Сварные швы после ремонта проверяются цветной дефектоскопией или опрессовываются керосином при давлении  $10^5$  Па.

Разрушение футеровок из материалов неорганического происхождения происходит в результате напряжений, которые возникают в материале при резких сменах температуры из-за различия коэффициентов линейного расширения металла корпуса и материала футеровки. Футеровки неорганического происхождения применяются в виде кирпичей, плиток, фасонных деталей, цементов, бетонов.

При футеровке аппарат не должен иметь прогиба. Его нельзя жестко связывать с площадками, на которых установлены движущиеся механизмы, вызывающие вибрацию.

Дефектные места футеровки вскрываются при помощи зубила и молотка без нарушения соседних рядов футеровки. Вскрытое место очищается от старой замазки, промывается водой, нейтрализуется содовым раствором и вновь заделывается. Сушка футеровки ведется при постепенном повышении температуры. Визуальным осмотром через люки и крышки аппарата перед его пуском проверяется состояние футеровки, швов и мест разделки штуцеров. Испытание футерованного аппарата после ремонта проводится пробным давлением, равным рабочему давлению.

При полной замене футеровки ее наносят так же, как при монтаже аппаратуры. Острые грани футеруемых аппаратов проверяются на наличие закруглений. Радиус закруглений должен составлять  $\geq 5$  мм. Внутренние устройства (мешалки, барботеры, змеевики) монтируют после нанесения антикоррозионных покрытий.

Процесс футеровки состоит из подготовки поверхности аппарата и футеровочных материалов, проведения собственно операции футеровки и сушки покрытия. Необходимо отметить, что отверстия в корпусе аппарата для штуцеров, люков, термопар, приборов нарушают монолитность футеровки, подвержены значительному износу и представляют наибольшую сложность при выполнении футеровочных работ. Поэтому перед началом футеровочных работ в штуцеры аппарата устанавливают вкладыши. На рис. 4.37 показана установ-

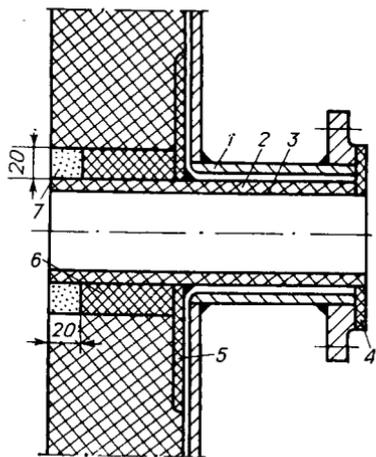


Рис. 4.37. Разделка вкладыша в штуцере аппарата:

1 — стальной штуцер; 2 — непроницаемый подслои; 3 — вкладыш; 4 — фланец вкладыша; 5 — фартук, приваренный к вкладышу; 6 — шнуровой асбест с кислотостойкой замазкой; 7 — замазка.

ка вкладыша из нержавеющей стали. Вкладыш с фартуком приваривается к аппарату сплошным швом. При установке вкладышей из каменного литья, пластмасс или графита они расчеканиваются шнуровым асбестом, смоченным жидкой замазкой.

Футеровку вертикальных аппаратов начинают с днища, затем после установки лесов и подмостей футеруется цилиндрическая часть, и, наконец, с помощью опалубки или кружал осуществляется футеровка крышки.

В цилиндрических горизонтальных аппаратах сначала футеруются днища, затем нижняя половина обечайки, а после схватывания вяжущего состава с помощью передвижных кружал — верхняя половина обечайки. Трещины и отколы в жаростойком покрытии заделываются жаростойким бетоном с предварительным смачиванием подготовленной поверхности жидким стеклом. Для ремонта покрытия штукатуров иногда применяется опалубка с нагнетанием раствора под давлением.

В качестве подслоя при футеровке неорганическими материалами используется полиизобутилен. Самостоятельно полиизобутилен не применяется из-за невысокой теплостойкости (26—65 °С) и хладотекучести. Так как керамические материалы обладают пористостью, использование полиизобутилена в качестве подслоя дает возможность получить непроницаемое изолирующее покрытие.

При ремонте полиизобутиленовые листы приклеиваются к металлическим или бетонным поверхностям с помощью соответствующего клея. Необходимо предварительно очистить поверхность от загрязнений, ржавчины, жира, а листы промыть мыльной водой для удаления талька и высушить. Установка листов полиизобутилена внахлест показана на рис. 4.38. Швы прикатываются роликом. Заплата из полиизобутилена, накладываемая на дефектное место, приклеивается с помощью клея, а ее кромки свариваются с основной поверхностью полиизобутилена струей горячего воздуха (180—200 °С).

Чтобы не происходило выдавливания полиизобутилена во фланцевых соединениях, на фланце устанавливается паронитовая или резиновая прокладка, приклеиваемая к полиизобутилену с помощью клея (рис. 4.38). Таким образом осуществляется ремонт гуммированных аппаратов.

Для гуммирования применяются специальные марки резины с повышенной химической стойкостью. Резина обладает хорошей адгезией к стали и чугуну. Сырая резина приклеивается к стенкам аппарата соответствующим клеем, после чего подвергается вулканизации. При ремонте гуммированный слой удаляется, поверхность аппарата тщательно очищается от клея и остатков резины, промывается бензином, затем резиновые листы приклеиваются и проводится вулканизация.

При ремонте винипластовой футеровки удаляются поврежденные участки и устанавливаются новые элементы. Заготовки

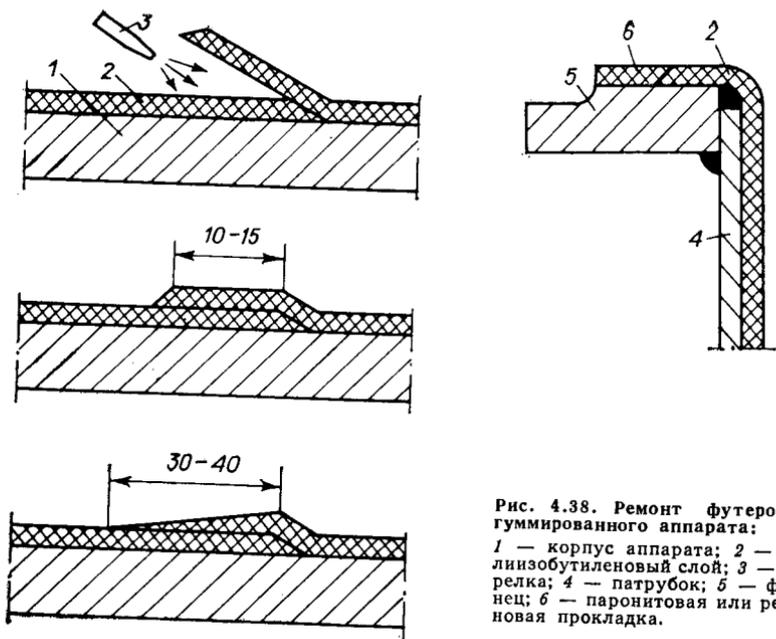


Рис. 4.38. Ремонт футеровки гуммированного аппарата:

1 — корпус аппарата; 2 — полиизобутиленовый слой; 3 — горелка; 4 — патрубок; 5 — фланец; 6 — паронитовая или резиновая прокладка.

необходимой формы получают путем механической обработки листа (резка, фрезерование, сверление, шлифовка, штамповка, формовка). Формовка цилиндрических и конических элементов футеровки проводится на металлических или деревянных оправках. Сварка элементов ведется горячим воздухом с использованием присадочных прутков. При охлаждении после нагрева винипласт дает усадку, поэтому перед изготовлением элементов футеровки выполняют операции нормализации листов винипласта путем выдержки в течение 30—40 мин при температуре 130—140 °С. При повторном нагреве деталей из винипласта (при их сварке) усадки не наблюдается. Качество сварки проверяется наливом воды в аппарат и выдержкой ее в течение 48 ч.

Ремонт лакокрасочных покрытий состоит в удалении ржавчины и отставшей краски металлическими щетками или шпателем, обезжиривании поверхности щелочным раствором или органическими растворителями и окраске в 2—3 слоя.

Очистка металлической поверхности от ржавчины вручную не обеспечивает полного удаления продуктов коррозии, поэтому лучше применять метод химической обработки поверхности, сущность которого заключается в том, что продукты коррозии при обработке превращаются в нерастворимые прочно связанные с металлом комплексные соединения, поверх которых наносится лакокрасочное покрытие.

Удаление участка корпуса (царги) при наличии трещины в корпусе осуществляется следующим образом. Участок аппарата

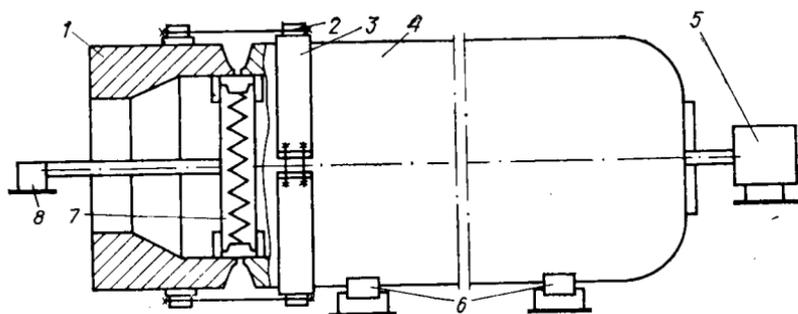


Рис. 4.39. Сварка корпуса аппарата высокого давления:

1 — горловина; 2 — стяжные шпильки; 3 — хомут; 4 — корпус аппарата; 5 — двигатель; 6 — роликковые опоры; 7 — разъемная электропечь; 8 — опора печи.

с трещиной удаляется полностью газовой резкой так, что после этого аппарат оказывается разрезанным надвое. Затем на расточном станке производится обработка под сварку торцовых частей половинок корпуса с удалением зоны термического влияния, образовавшейся после резки. Прилегающий участок шириной 130 мм проверяется ультразвуковой дефектоскопией на отсутствие дефектов:

Части колонны собираются методом стяжки в приспособлении с технологическим зазором 4 мм под сварку (рис. 4.39). Для предварительного подогрева свариваемых кромок и прилегающих зон в месте стыка устанавливается разъемная печь, обеспечивающая подогрев до 350—400 °С. Контроль температуры подогрева осуществляется в четырех точках на кольцевом шве. Печь собирается на базе сварного швеллера. Перед началом сварки производятся прихватки длиной 100—150 мм через 120° по окружности на режиме сварки кольцевого шва. Сварка ведется сварочной головкой на роликовом стенде с приводом от двигателя и редуктора, обеспечивающего вращение корпуса со скоростью 20—25 м/ч. После заварки кольцевого шва осуществляется отпуск для снятия остаточных напряжений и выравнивания структуры металла шва и околошовной зоны. Термообработка проводится в газовой нагревательной печи.

Ремонт штуцеров и люков возможен наплавкой плакирующего слоя или установкой нового штуцера с заменой или без замены укрепляющего кольца.

При местной коррозии или утонении плакирующего слоя допускается его наплавка толщиной не менее, чем в два слоя.

При необходимости замены штуцера он отрезается на расстоянии около 10 мм от поверхности укрепляющего кольца. Затем огнем способом удаляются остаток штуцера и сварные швы приварки штуцера к корпусу, вваривается новый штуцер. На внутренней поверхности штуцера производится наплавка плакирующего слоя не менее, чем в два слоя. Изготовление

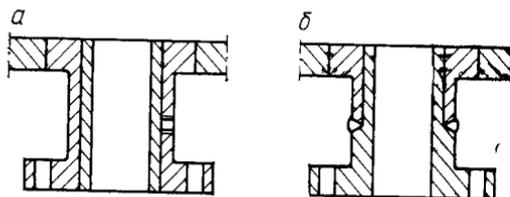


Рис. 4.40. Ремонт штуцера:

*а* — вваркой гильзы; *б* — вваркой гильзы с фланцем

укрепляющего кольца при его замене допускается в виде двух полуколец, устанавливаемых для сварки с зазором между ними 3—5 мм.

Ремонт штуцеров возможен также путем установки гильзы. Гильза приваривается (рис. 4.40) с обеих сторон к штуцеру.

Плотность сварных швов проверяется гидравлическим испытанием. В теле штуцера просверливаются два отверстия с резьбой М10 для контроля состояния сварных швов в процессе эксплуатации. При этом в резьбу контрольного отверстия ввертывается штуцер с вентилям для контроля пропуска газа. При замене фланца вытачивается гильза с фланцем, которая затем приваривается к штуцеру.

Корпус и рубашка аппарата с мешалкой могут иметь повреждения целостности, которые исправляются описанными выше методами. Наиболее распространенным видом ремонта является промывка поверхностей для удаления отложений и накипи с подваркой прокорродировавших участков. Особую сложность представляет ремонт поврежденных эмалевого покрытия аппарата.

Разборка эмалированного аппарата проводится в следующем порядке.

На фланце корпуса, крышке аппарата и прокладке делаются метки, затем снимаются болты. Крышка с помощью грузоподъемного механизма поднимается и устанавливается на козлы так, чтобы мешалка оказалась в подвешенном состоянии. Далее разбираются привод, муфта и мешалка. Аппарат чистят мягкими щетками или деревянными скребками и промывают горячей водой.

При больших размерах повреждений эмалевого покрытия частичный ремонт малоэффективен и аппарат нужно эмалировать повторно. Ремонт эмалевого покрытия проводится при небольших повреждениях площадью до 10 см<sup>2</sup>. При ремонте на дно аппарата укладывают листовую резину для предохранения покрытия дна от возможного падения используемых при ремонте предметов.

Подготовка дефектного места к ремонту заключается в удалении поврежденной эмали до грунтовочного слоя или до металла с помощью абразивного инструмента из тонкого корунда, промывке дефекта 10% раствором соды, сушке и последующей промывке спиртом.

В качестве замазок используются разнообразные композиции. Силикатная замазка применяется для кислотостойких эмалей и имеет следующий состав: диабазовая мука — 100 г, кремнефто-

ристый натрий — 5 г, жидкое стекло — 26 мл. Наносится она резиновой пластинкой при тщательном втирании в неровности поверхности в несколько слоев. Каждый слой сушится горячим воздухом. Просушенное покрытие дважды обрабатывается 50%-ной серной кислотой в течение 6 мин с последующей промывкой и сушкой после каждой обработки. Силикатное покрытие обладает хорошей сцепляемостью с металлом и эмалью, но имеет недостаточную стойкость в щелочных средах и горячей воде.

Замазка на основе эпоксидной смолы применяется для ремонта стойких эмалей. В ее состав входят (по массе): эпоксидная смола (10 частей), отвердитель (гексаметилендиамин — 0,6 частей или малеиновый ангидрид — 35 частей) и наполнитель (двуокись титана — 5 частей или молотый песок — 4—30 частей). Эпоксидная замазка наносится в три слоя плоской мягкой кистью во взаимно перпендикулярном направлении к предыдущему слою. Каждый слой отверждается по следующему режиму: медленный нагрев в течение 6 ч с 20 до 140 °С и выдержка 1 ч при 140 °С; последний слой отверждается 2 ч при 180 °С.

Бакелитовая замазка состоит из бакелитового лака и наполнителя — молотого и прокаленного кварцевого песка, который добавляется до получения густого подвижного состава. Применяется также замазка, содержащая эпоксидную смолу и бакелитовый лак: эпоксидная смола — 1 часть (по массе), бакелитовый лак — 1 часть, молотый кварц — 1—2 части, отвердитель (уротропин) — 2% к массе смолы и лака. Эта замазка также наносится в три слоя с отверждением каждого слоя в течение 6 ч при 40 °С и 1 ч при 160 °С.

Наиболее универсальным и надежным способом ремонта небольших дефектов эмалевого покрытия является установка танталовых грибообразных пломб с уплотнением из фторопласта. Установка танталовой пломбы показана на рис. 4.41. Диаметр резьбы пломбы М5. Диаметр головки обусловлен размером повреждения. При нарезании резьбы в корпусе аппарата удаление стружки из отверстия осуществляется сжатым воздухом или магнитными стержнями. Фторопластовую прокладку промазывают в замазке, служащей для закрепления пломбы и выравнивания дефектов поверхности. Избыток замазки, выступающей из-под головки пломбы при ее заворачивании, удаляется, после чего следует прогрев пломбы при 60 °С для отверждения замазки.

В тех случаях, когда химическая стойкость тантала недостаточна, применяются пломбы-винты из тантала с фторопластовым

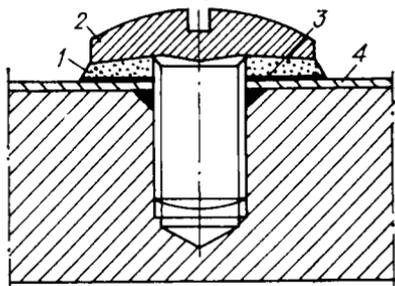


Рис. 4.41. Танталовая пломба:

1 — диск из фторопласта; 2 — танталовый винт; 3 — цемент-мастика; 4 — эмаль.

покрытием. Перед заворачиванием гайка заполняется замазкой. Такая конструкция пломбы позволяет ремонтировать дефекты, имеющие большие размеры. При значительных участках повреждений или в тех случаях, когда эти повреждения расположены внутри штуцеров, ремонт осуществляется с помощью танталовых накладок, закрепляемых несколькими винтами.

Ремонт штуцеров эмалированных аппаратов возможен путем установки титанового патрубка. Патрубок с отбортованным краем вводится с внутренней стороны аппарата и зажимается с наружной стороны титановой гайкой с резиновой прокладкой. В зазор вокруг патрубка предварительно заливается эпоксидная смола.

**Ремонт станин.** Чугунные корпусные детали, имеющие трещины, также ремонтируются сваркой. Перед сваркой деталь нагревается в печи до 600 °С с помощью газовых горелок. Предварительный нагрев позволяет предотвратить возникновение структурного отбела чугуна в зоне сварки. Сварка ведется газовой горелкой с применением прутков из низколегированного чугуна. После нанесения сварных швов деталь охлаждается с определенной скоростью в термостатической камере.

Механические повреждения устраняются сваркой с соблюдением условий, описанных выше. Поскольку при сварке появляются остаточные деформации, в первую очередь проводятся все операции, связанные с применением сварки. К этим операциям относятся также заварка поврежденных резьбовых отверстий и приварка вставок.

Обломанные болты и шпильки удаляются. Проводится гидравлическое испытание сварных швов на герметичность.

Следующий этап восстановления корпуса — обработка корабельных привалочных поверхностей, которая осуществляется фрезерованием или шлифованием.

Далее проводится восстановление посадочных мест под подшипники и втулки. При разработке посадочных мест появляется перекоп валов. В большинстве случаев эти поверхности восстанавливаются при помощи дополнительных ремонтных деталей. С помощью дополнительных деталей устраняется также нарушение взаимного расположения осей отверстий.

При установке дополнительных деталей осуществляется предварительная и окончательная расточка посадочных мест, запрессовка дополнительной детали (пробки из стали, бронзы, латуни, капрона), зачистка торцов заподлицо с плоскостью детали. Затем в пробках сверлятся новые отверстия с помощью кондуктора.

В последнюю очередь ведутся операции по восстановлению рабочих поверхностей с подвижными посадками (например, зеркало цилиндра компрессора) на хонинговальном станке.

При ремонте направляющих металлорежущих станков и гильотиновых ножниц применяются накладки. Изношенные поверхности подвергаются строганию, после чего устанавливаются накладки по величине снятого металла.

## 4.6. РЕМОНТ НЕКОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

**Ремонт валов.** Основные возможные неисправности цилиндрических валов — это износ и повреждение рабочей поверхности шеек, износ шпоночных канавок и шлицев, повреждение винтовой резьбы, центральных отверстий, изгиб, скручивание и поломка. Чаще всего в результате износа шеек вала и цапф теряется первоначальная геометрическая форма. Поперечное сечение становится овальным (эллипсным), а продольное сечение приобретает конусность.

Ремонт изношенной поверхности вала осуществляется механической обработкой, наплавкой или металлизацией. Неправильная форма шеек и цапф, а также повреждения поверхности устраняются шлифованием или проточкой с последующим шлифованием. На рис. 4.42 показаны прижимы для токарной шлифовки шеек вала.

Правку валов проводят различными способами. Валы простой конфигурации из недефицитных сталей при значительной величине прогиба изготавливаются заново. Валы небольшого диаметра и довольно большой длины правят в центрах токарного станка или специального приспособления с помощью винтового нажима.

При прогибе крупных валов возможна их правка следующими методами: 1) термическим методом, применяемым при малых прогибах; 2) термомеханическим методом с применением общего или местного отжига до и после механической правки.

Термический метод непригоден для закаленных валов и при высоких прогибах. Он заключается в быстром местном нагреве выпуклого участка вала, при котором нагретый слой металла вала получает напряжения выше предела текучести. Размер нагреваемого участка определяется величиной прогиба. Вал покрывается слоем асбеста, в котором оставляется окно для нагрева. Нагрев осуществляется газовой сварочной горелкой до температуры 600—700 °С (темно-вишневый цвет). Для вала, установленного в опорах, величина деформации может контролироваться по индикатору, расположенному на конце вала.

При прекращении нагрева вал начинает выпрямляться. После охлаждения вала до температуры окружающей среды производится проверка вала индикатором. При необходимости нагрев вала осуществляется несколько раз с таким расчетом, чтобы при

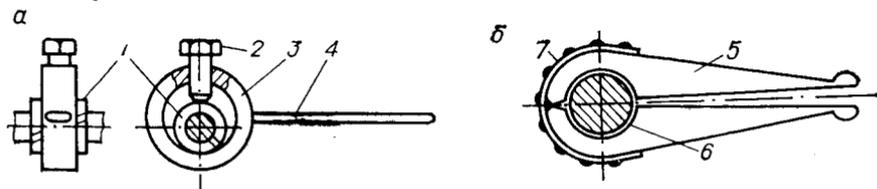


Рис. 4.42. Прижимы:

а — с разрезной втулкой и винтовым прижимом; б — деревянные с ручным прижимом;

1 — разрезная втулка; 2 — поджимной болт; 3 — оправка; 4 — ручка; 5 — полухомут; 6 — место нанесения шлифовального порошка или пасты; 7 — ремень, соединяющий полухомуты.

последнем нагреве получить перегиб вала на 0,10—0,15 мм, который при отжиге вала устраняется.

Термомеханический метод правки заключается в том, что до начала нагрева выпуклого участка в вале создают напряжение с помощью механического нажима. При нагреве вал стремится еще больше разогнуться. Выпрямление же вала имеет место только при его охлаждении. Встречая сопротивление со стороны устройства для предварительного нажима, материал в месте нагрева переходит предел текучести раньше, чем при чисто термической правке, и этим самым процесс правки ускоряется. Деформация вала при предварительном нажиме и после правки контролируется индикаторами, устанавливаемыми на концах вала. После полного охлаждения вал освобождается от нажимного устройства для контроля. Нагрев может осуществляться несколько раз. Этот метод позволяет устранять большой прогиб, но в материале вала из-за одностороннего нагрева возникают значительные остаточные напряжения, вызывающие возврат прогиба при отжиге.

Термомеханическая правка второй разновидности основана на пластических деформациях вала. Процесс осуществляется путем нагрева вала по всей окружности до 600—650 °С с последующей правкой нажимным приспособлением. Особенностью этого метода правки является проявление релаксационных явлений. При релаксации напряжений имеет место снижение напряженного состояния путем перехода упругой деформации в пластическую. Общая деформация при правке складывается из упругой и пластической. Ниже представлены релаксационные характеристики стали 35, полученные при времени выдержки детали 1 ч в условиях повышенных температур:

Температура, °С . . . . .	450	550	600	650
Доля пластической деформации . . . . .	0,3	0,6	0,7	0,9

Из этих данных следует, что при термомеханической правке всегда сохраняется упругая деформация. С увеличением продолжительности выдержки при высокой температуре вся упругая деформация в пределе переходит в пластическую деформацию. Таким образом правка может состоять из двух этапов: 1) прогрев и нагружение вала; 2) выдержка в нагретом и нагруженном состоянии.

Напряжения, возникающие при данном методе, всегда ниже предела текучести, поэтому опасных внутренних напряжений не возникает, а после правки остаточные напряжения отсутствуют, что обеспечивает стабильность формы вала. Продолжительность выдержки вала при нагреве может составлять 1—3 ч. За это время упругая деформация переходит в пластическую. В процессе правки индикаторы могут измерять как остаточную (пластическую), так и упругую деформации.

Нагрев вала при правке может осуществляться с помощью расплавленного алюминия или цинка. Для этого вал устанавливается прогибом вверх, около участка нагрева формируется ванна из глинистого раствора или ставится металлическая форма с прокладкой по линии контакта с валом, в форму заливается определенная доза расплавленного металла. При заливке металла происходит интенсивная теплопередача, после чего расплавленный металл затвердевает и между ним и поверхностью вала образуется зазор, резко снижающий передачу теплоты. Нагрев вала осуществляется интенсивно и малое время, т. е. в режиме теплового удара, что способствует сохранению структуры металла. При последующем охлаждении вала возникает прогиб, противоположный первоначальному. Остаточные напряжения снимаются путем кольцевого нагрева зоны правки (желательно, при вращении вала). Регулировка процесса правки осуществляется за счет выбора рабочего металла, его количества и температуры нагрева, а также площади контакта с валом.

Правка вала в холодном состоянии осуществляется приложением силы в месте максимального прогиба таким образом, чтобы прогиб вала в обратном направлении превышал в 5—8 раз величину первоначального прогиба. Цикл нагружения повторяется 3—5 раз до устранения прогиба с измерением каждый раз биения вала.

Ремонт поломанного вала проводится при помощи газовой, электрической или кузнечной сварки после предварительной обработки торцовых поверхностей соединяемых частей. Совпадение осей частей вала обеспечивается выставлением в центрах и на люнетах токарного станка. Одну часть вала (наставку) вращают с частотой 500—800 об/мин и прижимают к неподвижной части вала. Вал и наставка нагреваются до белого каления. В момент появления искр горящего углерода вращение прекращают. После остывания образовавшееся утолщение протачивают.

При соединении частей вала требуется его термообработка после сварки и проточка наставки после удлинения.

Сорванную и забитую резьбу на валу прорезают на другой диаметр, а если этого сделать нельзя, то ее заваривают и нарезают новую. Возможна также посадка втулки на проточенное место и нарезание на ней резьбы прежнего размера.

**Ремонт подшипников.** Необходимость ремонта подшипников скольжения возникает при следующих неисправностях: 1) искажение первоначальной геометрической формы поверхностей трения; 2) появление задиров и рисок на поверхностях трения; 3) частичное либо полное выплавление или отслаивание баббита; 4) образование трещин.

При износе неразъемных (глухих) подшипников осуществляют расточку их отверстий или наплавку с последующей расточкой для запрессовки новой втулки. Изношенные чугунные втулки заменяют новыми, а бронзовые втулки небольших размеров восстанавливают осадкой в штампах под прессом.

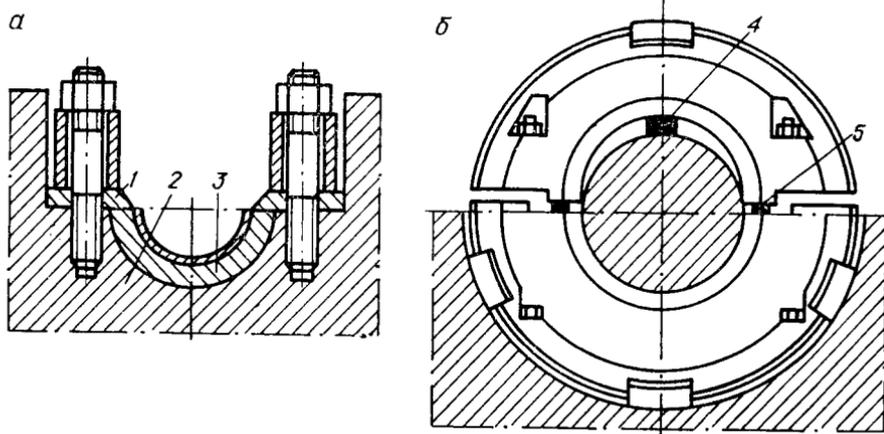


Рис. 4.43. Ремонт разъемных подшипников:  
*а* — крепление вкладыша подшипника к постели для шабрения; *б* — проверка масляного зазора в подшипнике;  
 1 — прижим; 2 — постель; 3 — вкладыш; 4, 5 — пластинки.

При износе разъемных подшипников проводят шабрение вкладышей или их перезаливку. Шабровка осуществляется путем соскабливания неровностей с поверхности баббитовой заливки. За один проход шабера снимается слой металла толщиной 0,005—0,007 мм. Соответственно, и точность поверхности при шабрении составляет 0,005—0,007 мм (5—7 мкм).

Если износ небольшой, то выполняют шабрение в две стадии. Предварительное шабрение проводят по отпечаткам краски, добиваясь необходимого их количества. В этом случае вкладыш 3 прижимом 1 крепят к постели 2 корпуса подшипника (рис. 4.43, *а*) и шейку вала покрывают тонким слоем краски.

Прилегание шеек вала к вкладышам подшипников должно происходить на дуге не менее 60—80°. Равномерность прилегания определяется числом пятен касания, которое должно быть  $\geq 10$  на квадрате, имеющем размеры 25 × 25 мм.

При окончательном шабрении вал с закрепленными шейками устанавливается в нижние вкладыши, а затем монтируются верхние вкладыши, ставятся прокладки, закрываются крышки. Создаются условия тугого проворачивания вала в подшипнике.

Точность пришабривания вкладышей проверяется щупом или свинцовыми пластинками (рис. 4.43, *б*). Разница между толщиной верхней и нижней проволок после затяжки до отказа равна ширине зазора  $\delta$  между подшипником и валом и должна составлять:

$$\delta = 0,001D_{ш}$$

где  $D_{ш}$  — диаметр шейки вала.

При значительном износе вкладышей или расслоении баббита их перезаливают. Перезаливка складывается из следующих операций: 1) подготовка подшипника к ремонту; 2) лужение подшип-

ника; 3) подготовка баббита к заливке; 4) заливка подшипника; 5) обработка и контроль.

Подготовка подшипника к ремонту заключается в очистке от грязи, масла и следов коррозии и выплавлении из вкладышей подшипника изношенного слоя баббита. Выплавка этого слоя осуществляется в вертикальном положении нагревом газовой горелкой или паяльной лампой до температуры 240—260 °С с тыльной стороны. При легком постукивании с торца по вкладышу корпус освобождается от баббита. Затем производится травление вкладышей в 10—15% растворе соляной или серной кислоты в течение 2—10 мин при комнатной температуре.

При лужении на поверхность вкладышей наносится тонкий слой оловянного сплава. Для баббита Б83 используется чистое олово, для остальных марок оловянистых баббитов наносится слой третника или припой ПОСС-46 (3—4% олова, 5—6% сурьмы, остальное — свинец). Заливку подшипников баббитом можно проводить вручную, центробежным способом и под давлением.

При ручном способе возможна одновременная заливка двух половинок подшипника в сборе или каждой половинки отдельно. Перед заливкой вкладыш прогревается на стальном листе до температуры 180—200 °С. Расплавленный баббит, объем которого несколько больше объема заливки, перегревается на 25—50 °С выше температуры плавления и быстро заливается непрерывной струей. После заливки поверхность баббита протыкается нагретым докрасна стальным прутком для выхода газа. Толщина слоя баббита рассчитывается по формуле:

$$\delta_6 = k \cdot 0,05d$$

где  $\delta_6$  — толщина слоя баббита, который должен остаться после расточки залитого подшипника;  $d$  — диаметр вала;  $k$  — коэффициент запаса на расточку. Обычно принимают  $k = 1,03 \div 1,05$ .

При центробежной заливке оба вкладыша в сборе устанавливаются на специальных станках или приспособлениях. Заливка баббита ведется при вращении вкладышей. Центробежная заливка уменьшает газонаполнение слоя.

После остывания подшипники подвергаются контролю. Поверхность их должна иметь ровный серебристый цвет. Плотность сцепления баббита с поверхностью подшипника проверяют простукиванием молотком.

В залитых вкладышах фрезеруются смазочные канавки, сверлятся смазочные отверстия, затем осуществляется шабровка.

При восстановлении вкладышей подшипников с целью замены высокооловянистых баббитов могут применяться антифрикционные сплавы, получаемые в процессе металлизации. Эти псевдосплавы выдерживают высокие удельные нагрузки и скорости скольжения и имеют коэффициент трения ниже, чем у бронзы и баббита. Для получения покрытия используется проволока — стальная, медная, свинцовая, латунная, алюминиевая.

Подшипники качения подлежат замене, если обнаружены следующие неисправности: задиры на беговых дорожках и телах качения, повреждения в местах посадки подшипника в корпусе или на валу, увеличенные зазоры между телами качения и обоймами, цвета побежалости, следы защемления, выкрашивания, отслаивания, шелушения раковин, надломы и трещины на сепараторе.

При отсутствии указанных дефектов шарикоподшипники проверяются на шум и легкость вращения от руки. Подшипник должен иметь ровный ход без заедания и шума. Проверяются с помощью индикаторов радиальный люфт и осевой зазор.

Причинами вытекания масла из подшипников скольжения могут быть заполнение подшипника маслом сверх допустимой нормы, применение несоответствующих сортов масла с пониженной вязкостью, повышенные зазоры в уплотнениях, а также конструктивные недостатки, которые могут быть устранены при очередной модернизации во время ремонта. Показателями свойств подшипников качения являются два основных зазора.

1. Радиальный зазор, равный сумме зазоров между телами качения и обоймами (люфт). При закрепленной внутренней обойме радиальный зазор измеряется величиной хода наружной обоймы при движении ее легким нажатием руки сначала в одну сторону, а затем в противоположную.

2. Осевой зазор, равный величине полного осевого перемещения в обе стороны одного из колец при закрепленном другом кольце.

Люфт может быть начальным, посадочным и рабочим. Начальный люфт имеет новый подшипник. После посадки на вал из-за некоторого растяжения внутренней обоймы люфт уменьшается (такой люфт называется посадочным). При установившемся режиме работы подшипник имеет рабочий люфт. Измерение осевого и радиального зазоров необходимо для определения работоспособности подшипника. Для большинства подшипников допускается увеличение рабочих люфтов в 2—3 раза по сравнению с первоначальным.

Посадка подшипника качения на вал обычно производится с натягом. Внутренняя обойма подшипника обработана по 7—8 классу шероховатости, а твердость стали обоймы в 2—3 раза больше твердости материала вала, так как все детали подшипника качения закалены. При посадке подшипника без нагрева происходит срезание неровностей вала, а при посадке с нагревом — смятие неровностей вала. Если вал обработан грубо, посадка с течением времени ослабевает, поэтому посадочное место вала также должно обрабатываться по 7—8 классу шероховатости.

На рис. 4.44 представлена схема приспособления, используемого для контроля радиального зазора и радиального биения однорядных подшипников. На общей стойке укреплены устройство для зажима подшипника и индикатор. Внутренняя обойма под-

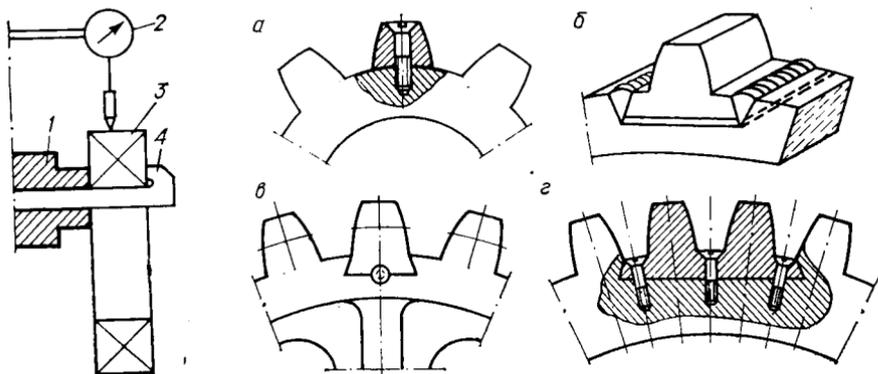


Рис. 4.44. Схема приспособления для контроля подшипников качения: 1 — упор; 2 — индикатор; 3 — подшипник; 4 — насадка.

Рис. 4.45. Восстановление зубчатых колес с помощью наделок: а — установка зуба на винтах; б — приварка зуба; в, г — заделка типа «ласточкин хвост».

шипника маховиком зажимается между упором 1 и передвижной насадкой 4. К наружной обойме подшипника подводится индикатор. Нажатием руки на наружную обойму снизу вверх по индикатору определяется осевой зазор. Измерение повторяется несколько раз при повороте наружного кольца на  $90^\circ$ . Радиальное биение проверяется по показаниям индикатора при вращении рукой наружной обоймы подшипника. Приспособление позволяет контролировать биение подшипников различного размера.

Ремонт подшипников качения проводится для некоторых массовых типоразмеров на машиностроительных (подшипниковых) заводах с разборкой на детали в обезличенном потоке.

**Ремонт шестерен.** Неисправностями шестерен являются износ зубьев по длине и толщине, ступенчатая выработка зубьев, выкрашивание цементированной или закаленной рабочей поверхности зубьев, поломка зубьев, износ шпоночных канавок.

Контроль износа зубьев по длине осуществляется штангенциркулем, по толщине — штангензубомером по начальной окружности; контроль шпоночных и шлицевых канавок производится скобами, листовыми пробками и шаблонами. Остальные неисправности выявляются внешним осмотром. Износ зубьев шестерни определяется контрольной скобой. Если скоба плотно садится на вершину зуба, шестерню выбраковывают.

При восстановлении шестерен с поломанными зубьями используется один из методов, представленных на рис. 4.45.

**Ремонт муфт.** В промышленности наиболее часто используются соединительные (жесткие и упругие) и сцепные (управляемые) муфты. Соединительные жесткие муфты сочленяют валы неподвижно и не компенсируют их несоосность. К ним относятся продольно- и поперечно-свертные муфты. Из упругих наиболее

Таблица 4.2

Диаметр полумуфт, мм	Допустимое биение, мм	
	торцовое	радиальное
200—300	0,2	0,1
300—600	0,3	0,15
600	0,4	0,25

распространены втулочно-пальцевые, а из сцепных — конусные фрикционные муфты.

Наиболее часто изнашиваются упругие втулочно-пальцевые, кулачковые и фрикционные муфты. При этом встречаются следующие неисправности: 1) поломка соединительных пальцев; 2) ослабление посадок

шпонок или полумуфт; 3) поломки пружин эластичных муфт или их износ.

У продольно-свертных муфт в период эксплуатации увеличивается посадочное отверстие, разрабатывается шпоночный паз и деформируется шпонка. Муфты со значительным износом заменяются полностью. У поперечно-свертных муфт возможны срез болтов или их изгиб, смятие резьбового соединения, разработка отверстий под болты и посадочных отверстий в дисках, смятие шпонок и износ шпоночных канавок. В этом случае проводится развертка отверстий под болты большего размера либо на болты устанавливаются переходные втулки. Разработанные посадочные отверстия у полумуфт растачиваются, а затем в них запрессовываются втулки необходимых размеров.

В дисковых пальцевых муфтах в основном изнашиваются неметаллические кольца и реже — пальцы. Изношенные пальцы и кольца должны заменяться новыми.

В кулачковых муфтах наиболее часто изнашиваются шпонки и пазы на валу, выточки для хомута и кулачки. Кулачки муфт восстанавливаются электронаплавкой с последующим строганием, фрезерованием или ручным опилением. Разработанные резиновые втулки, сухари и пружины необходимо заменить новыми.

Незначительные дефекты в виде вмятин, заусенцев обычно исправляют вручную посредством опиления.

Для нормальной работы муфтового соединения нужно обеспечить соосность валов электродвигателя и рабочей машины. Наиболее простым способом центровки осей валов является способ по полумуфтам, описанный ранее. В табл. 4.2 приведены максимально допустимые радиальное и торцовое биения полумуфт.

В центробежно-фрикционных муфтах изнашиваются накладки, изготовленные из ферродо или другого фрикционного материала. Очень часто происходит замасливание накладок. При ремонте таких муфт замасленные накладки следует промыть бензином и зачистить шкуркой.

У конусных фрикционных муфт изнашиваются поверхности полумуфт. При сильном износе полумуфты могут соприкасаться торцовыми поверхностями, и муфта пробуксовывает. В этом случае конический диск или фрикционное кольцо растачивается по наружному диаметру до получения цилиндрической поверхности.

Соответственно растачивается выточка муфты и в нее запрессовывается кольцо с внутренним диаметром, равным диаметру обточенного конического диска или фрикционного кольца. Далее конусы пригоняются расточкой.

**Ремонт неподвижных соединений.** Неподвижные соединения подразделяются на разъемные и неразъемные. К разъемным соединениям относятся резьбовые, шпоночные, шлицевые и конусные, к неразъемным — сварные, клепаные, развальцованные, выполненные с применением клея, а также прессовые посадки с гарантированным натягом.

В резьбовых соединениях встречаются следующие виды повреждений: 1) изменение профиля резьбы по среднему диаметру в соединениях с частым относительным перемещением элементов (ходовые, нажимные винты и т. д.); 2) смятие рабочих поверхностей резьбы под действием рабочих нагрузок; 3) удлинение стержня болта с изменением шага резьбы в результате действия осевых рабочих нагрузок и усилий затяжки; 4) поломка или ослабление пружинных шайб, а также износ и смятие простых шайб и граней болтов и гаек.

Поврежденные крепежные болты, винты и гайки заменяются новыми. Исключение допускается лишь для гаек, имеющих слегка смятые грани. Детали значительного размера (например, ходовые и нажимные винты грузоподъемных механизмов) с изношенной резьбой исправляются путем нарезания новой резьбы либо после срезания старой резьбы (если это допустимо по условиям прочности), либо после посадки втулки.

Сорванная или изношенная резьба в небольших отверстиях не восстанавливается. В таких случаях деталь высверливается на меньшую глубину и в этой части нарезается резьба. При этом винт или болт должен иметь удлиненную резьбовую часть. Иногда отверстие просверливается и нарезается новая резьба большего размера. Соответственно рассверливаются болтовые отверстия сопряженных деталей и используются винты или болты с новой резьбой.

В шпоночных соединениях чаще всего изнашиваются рабочие поверхности шпонок и пазов.

Шпонки заменяются новыми. Пригонка шпонок по шпоночным пазам на валу и сопрягаемой с ним детали осуществляется опилением, строганием, фрезерованием или шлифованием.

Разработанные шпоночные пазы на валах восстанавливаются наплавкой с последующим фрезерованием. Ремонт шпоночного паза возможен путем установки точной копии шпонки, изготовленной из графита, наплавкой краев шпоночного паза и обработкой вала после удаления графитовой вставки. При восстановлении шпоночных пазов в ступицах паз расширяется и углубляется до полного устранения следов износа. Затем изготавливается ступенчатая шпонка. При этом ступени шпонки должны быть расположены строго симметрично.

Часто шпоночный паз изготавливают на новом месте. Обработка и изготовление новых пазов на валах проводится на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках дисковыми и пальцевыми фрезами.

Ремонт шлицевых соединений проводится раздачей шлицевых каналов с последующей наплавкой металла, нарезкой шлиц и их упрочнением. Если вал работает только в одном направлении вращения, то наплавляются нерабочие грани (рис. 4.46, а), а затем шлицы выправляются на фрезерном станке так, чтобы на рабочих гранях был основной металл.

Если вал работает с нагрузкой в обе стороны вращения, осуществляется раздача шлицев. Для этого шлицы отжигаются нагревом, после чего зубилом каждый из них раздается на полную длину (рис. 4.46, б). При дальнейших операциях эти канавки наплавляются электросваркой (рис. 4.46, в), вал отжигается, форма шлиц выправляется и проводится упрочнение рабочих поверхностей.

Шлицы со значительным износом обвариваются вкруговую с последующей нарезкой новых канавок. Для уменьшения дефор-

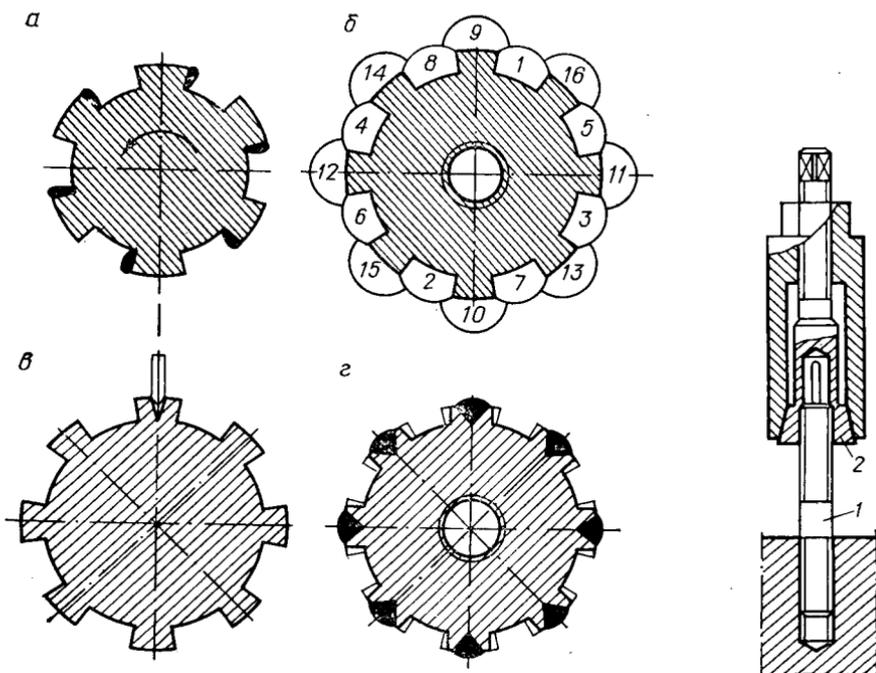


Рис. 4.46. Восстановление шлицевых участков вала:  
а — наплавкой нерабочих граней шлицев; б — заваркой шлицев с последующей нарезкой новых шлицев; в, г — раздачей и заваркой шлицев.

Рис. 4.47. Ключ для вывинчивания шпилек:

1 — шпилька; 2 — цанга.

мации вала наплавку следует вести в последовательности, указанной цифрами на рис. 4.46, б. При восстановлении шлицевых участков валов с каналами в них для уменьшения деформации запрессовываются или вворачиваются стальные пробки. Шлицы обрабатываются на номинальный размер шлифовкой и подвергаются термообработке.

Ремонт сварных и паяных соединений осуществляется путем подваривания и пайки. Как указывалось выше, для выявления дефектов сварного соединения используются различные способы: внешний осмотр, рентгеновское просвечивание, магнитный и ультразвуковой контроль. Выявленные трещины засверливают по концам, а вдоль трещины разделяют канавку. Сквозные трещины по толщине стенки более 20 мм разделяют с обеих сторон. Затем трещины заваривают.

В заклепочных соединениях встречаются следующие дефекты: ослабление заклепок, погнутость стержней, срез головок, повреждение заклепочных отверстий. Неплотность заклепочных соединений обнаруживается либо внешним осмотром, либо гидравлическим испытанием. Разношенные заклепки не исправляются. При ремонте срубаются головки и заклепки выбиваются из отверстий. Неисправные заклепки можно высверливать. После этого отверстия обрабатываются под заклепки несколько увеличенного диаметра.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

4.1. Приспособление для выворачивания шпилек, показанное на рис. 4.47, является цанговым. Приспособления, изображенные на рис. 4.12, — болтовые. Требуется путем анализа сил определить, в каком из приспособлений — цанговым или болтовым — сила сцепления со шпилькой выше. Какое из приспособлений оказывает меньшее воздействие на резьбу шпильки?

4.2. На рис. 4.48 показана посадка на вал легкой и тяжелой детали усложняет технологию изготовления. Чем вызвана необходимость применения конических сопрягаемых поверхностей?

4.3. Каким образом достигается натяг конусного соединения: напрессовкой детали на конус или использованием шпонки?

4.4. Проверка плотности посадки в конусном соединении осуществляется по краске. Какова технология проверки?

4.5. На рис. 4.49 изображены две детали, составляющие съемник для демонстрация резьбового свертыша. Какова последовательность применения съемника? На использовании какой силы основано действие съемника? В чем сходство этого съемника, осуществляющего захват за внутреннюю резьбу, со съемником, осуществляющим захват за наружную резьбу шпилек?

4.6. В каких случаях целесообразно применение показанного на рис. 4.50 приспособления? Какое направление резьб должно быть на винтах? Как осуществить выпрессовку детали, если максимальный угол поворота воротка, вставляемого в отверстие втулки 3, составляет 90°?

4.7. В корпусе насоса при разборке осталась оторвавшаяся часть шпильки (рис. 4.51). Для ее высверливания в отверстие крышки насоса вставляется втулка. Какова наименьшая толщина стенки втулки? Какова последовательность операций по извлечению втулки, если внутренний диаметр втулки значительно меньше внутреннего диаметра резьбы шпильки?

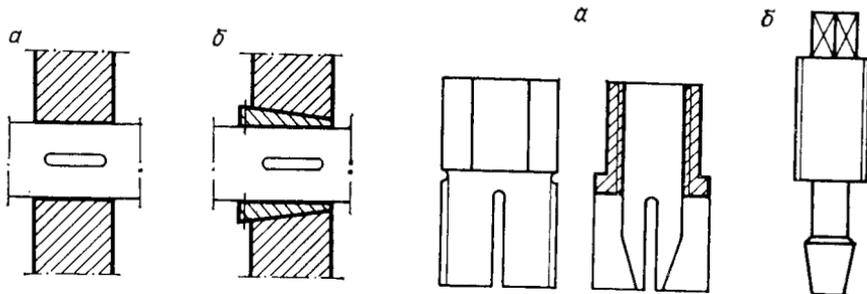


Рис. 4.48. Посадка на вал легкой (а) и тяжелой (б) деталей.

Рис. 4.49. Элементы съемника для демонтажа резьбовых свертышей:  
а — цанга; б — винт.

4.8. Допустимая температура нагрева стали 450 °С. Если этой температуры недостаточно для выполнения прессового соединения без усилия запрессовки, используется охлаждение второй сопрягаемой детали. Каким способом осуществляется охлаждение детали перед сборкой прессового соединения?

4.9. Почему недопустим нагрев детали, в которую запрессовывается бронзовая втулка?

4.10. Посадка подшипников качения с натягом производится нагревом подшипника до 90—100 °С в горячем минеральном масле. Почему для подшипников качения недопустима более высокая температура нагрева, а также выдержка в горячем масле более 40 мин?

4.11. Почему посадка, выполненная с нагревом одной из сопрягаемых деталей, дает более прочное соединение, чем запрессовка без нагрева?

4.12. Почему нагрев охватывающей детали нецелесообразен для деталей сложной формы?

4.13. При увеличении угла конусности усилие запрессовки для обеспечения необходимого натяга возрастает, а усилие распрессовки понижается. Чем это объясняется?

4.14. Почему шпонки с валом сопрягаются по переходной посадке, а сопряжение шпонки с деталью выполняется по скользящей или подвижной посадке?

4.15. В чем заключается назначение отверстия  $\varnothing 6$  мм, высверленного в детали перед запрессовкой (рис. 4.52, а)?

4.16. На рис. 4.52, б изображена схема восстановления валика запрессовкой цапфы. Какие мероприятия по подготовке валика и вновь изготовленной цапфы должны быть выполнены для обеспечения возможности запрессовки и обеспечения соосности сопрягаемых элементов?

4.17. В аппаратах, требующих частого ремонта уплотнения, используется прокладка, позволяющая осуществить демонтаж уплотнения без демонтажа редуктора

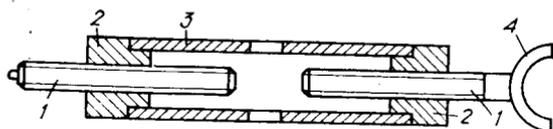


Рис. 4.50. Приспособление для выпрессовки:  
1 — винт; 2 — гайка; 3 — втулка; 4 — упор.

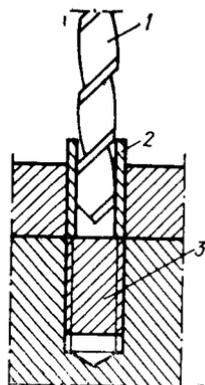


Рис. 4.51. Высверливание шпильки:  
1 — сверло; 2 — втулка; 3 — шпилька.

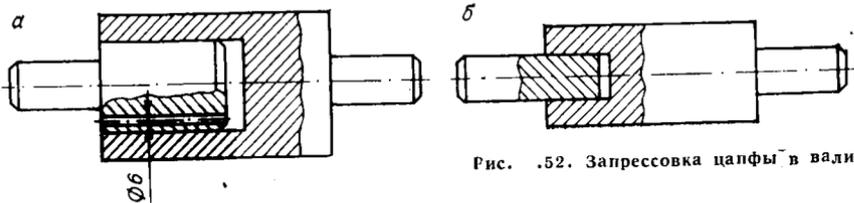
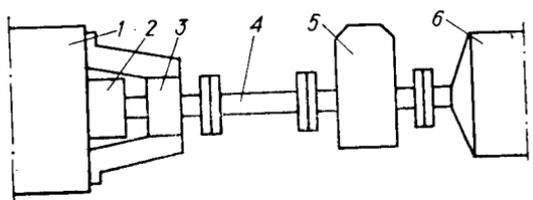


Рис. 4.52. Запрессовка цапфы в валдик.



1 — аппарат; 2 — уплотнение; 3 — опора; 4 — проставка; 5 — редуктор; 6 — двигатель.

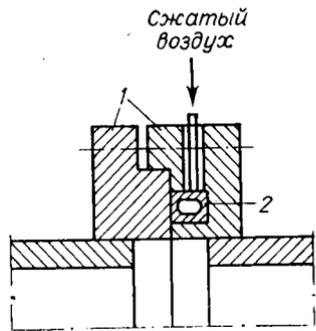


Рис. 4.53. Муфта с проставкой:

Рис. 4.54. Уплотнение с надувной камерой:  
1 — фланцы; 2 — камера.

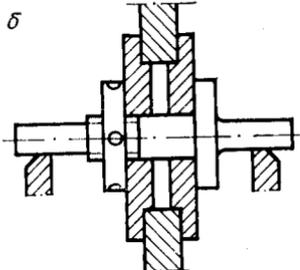
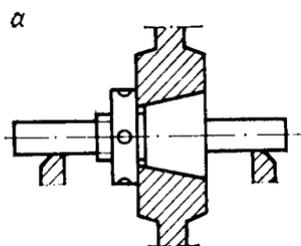


Рис. 4.55. Оправки для статической балансировки:

а — деталей с коническим посадочным местом; б — деталей с большим диаметром отверстия.

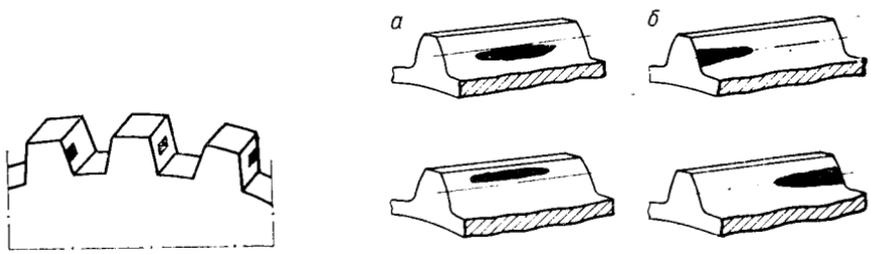


Рис. 4.56. Смещение пятен касания по длине зуба.

Рис. 4.57. Проверка зубчатых колес на краску:  
а — отклонение межосевого расстояния; б — непараллельность осей колес.

и двигателя (рис. 4.53). Проставка должна легко входить между полумуфтами и в то же время плотно прилегать к полумуфтам. Какие приемы обеспечивают выполнение этих противоречивых требований?

4.18. В аппаратах, разъемы корпуса которых должны собираться быстро и с соблюдением соосности, в качестве уплотнения используется надувная камера (рис. 4.54). Чем помогает соблюдению соосности применение надувной камеры?

4.19. При сверлении глубоких отверстий сверлами малого диаметра (1—3 мм) отверстие уводит. Повысится ли точность сверления, если его проводить не на сверлильном, а на токарном станке с вращением детали?

4.20. Контакт рабочих поверхностей зубчатых колес должен составлять по высоте не менее 55% и по длине не менее 80%. При недостаточном контакте исправление контактных поверхностей зубьев осуществляется шабрением и притиркой с абразивной пастой (особенно для закаленных шестерен). Как отражается притирка на профиле зуба? В какой передаче меньше шум: с достаточной поверхностью контакта или с недостаточной?

Приработка зубчатых колес проводится с использованием жидкой смазки. Какой эффект при этом достигается: увеличение поверхности контакта или повышение чистоты обработки рабочих поверхностей зубьев?

4.21. На рис. 4.55 показаны оправки, применяемые при балансировке деталей с коническим посадочным местом и деталей с большим диаметром отверстия. Какие требования к точности оправок могут быть предъявлены при заданной точности статической балансировки?

4.22. Каковы отрицательные последствия использования для статической балансировки призм с более узкой шириной рабочей поверхности, чем расчетная?

4.23. Соосность валов контролируется: 1) линейкой и щупом; 2) индикаторами; 3) скобами (стрелками) и щупом. Какой из названных способов является наиболее точным?

4.24. При радиальном и торцовом биении пятна контакта располагаются на различных участках зуба. Какой вид биения имеет передача, на зубчатом колесе которой пятна контакта перемещаются по длине зуба (рис. 4.56)?

4.25. При отклонении межосевого расстояния зубчатых колес (рис. 4.57, а) погрешность устраняется путем перепрессовки втулок в корпусной детали и их повторным растачиванием. Смещение пятен контакта имеет место также при излишней или недостаточной толщине зубьев у одного или у обоих колес. Каким должен быть порядок контрольных операций для установления действительной причины?

4.26. Односторонний отпечаток краски (рис. 4.57, б) свидетельствует о непараллельности осей зубчатых колес. Причиной перекоса может быть: 1) непараллельность осей валов; 2) неправильная запрессовка зубчатого колеса на вал, т. е. непараллельность оси зубчатого колеса к оси вала (несоосность). При развороте колеса с валом на 180° было установлено, что отпечаток краски не смещается. Какова причина непараллельности?

## ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ С ДЕТАЛЯМИ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. ПЛАСТМАССЫ

Из пластмасс изготавливают емкостную аппаратуру, трубопроводы, арматуру, детали машин (подшипники скольжения, уплотнительные элементы, манжеты, роторы насосов, крыльчатки вентиляторов, шкивы, шестерни, металлопластмассовые детали).

При использовании пластмасс достигается: 1) замена дефицитных сплавов и цветных металлов; 2) снижение нагрузок от веса деталей и центробежных сил; 3) уменьшение расхода смазки; 4) уменьшение затрат на ремонт оборудования.

Применение пластмасс вместо нержавеющей стали особенно целесообразно для деталей сложной формы. Стоимость изготовления деталей в этом случае резко снижается.

В некоторых случаях использование пластмасс повышает надежность работы оборудования. Например, бункера и емкости для комкующихся материалов, на внутренней поверхности которых налипают материалы, футеруются полиэтиленом или винилпластом, после чего налипание уменьшается.

Ценным свойством пластмасс является возможность применения их в парах трения, работающих без смазки. К числу таких полимеров относится фторопласт.

Подшипники из текстолита, капрона, полиэтилена могут работать в воде.

Пластмассы обладают высокой стойкостью к коррозии, легко свариваются и склеиваются, имеют низкую плотность, что позволяет снижать массу конструкций.

К недостаткам пластмасс относятся низкая термостойкость, более низкая по сравнению со сталью механическая прочность, склонность к влагопоглощению, высокое значение коэффициента линейного расширения.

В ремонтной практике пластмассы применяются для изготовления емкостной аппаратуры и трубопроводов, для восстановления изношенных поверхностей и антикоррозионных покрытий, для склеивания деталей.

При восстановлении деталей целесообразно нанесение пластмассы на поверхность детали для восстановления ее размеров, повышения износостойкости, герметизации. При этом одновременно снижается шум от пары трения, повышается коррозионная стойкость. Тонкий слой пластмассы практически не снижает прочностных показателей металла и придает детали податливость, т. е.

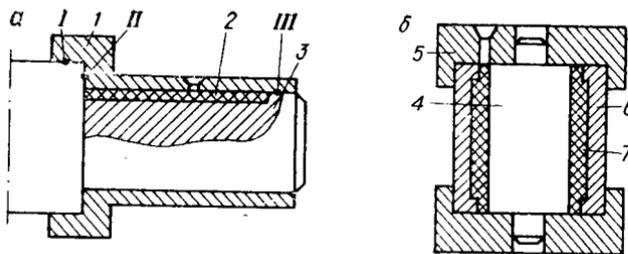


Рис. 5.1. Восстановление вала (а) и втулки (б) нанесением пластмасс:

I—III — поверхности вала;

1 — пресс-форма; 2, 7 — покрытие; 3 — вал; 4, 5 — детали пресс-формы; 6 — втулка.

способность принимать форму сопряженной детали, что приводит к резкому увеличению площади контакта. Тонкий слой пластмассы значительно меньше, чем деталь, изготовленная целиком из пластмассы, изменяет свои размеры вследствие усадки и влагопоглощения.

Пластмассы наносятся литьем под давлением, горячим прессованием, вихревым, газопламенным, центробежным способами.

Восстановление деталей нанесением полиамидов ограничивается следующими условиями. Полиамидные покрытия можно наносить на детали в сопряжениях, изготовленных по третьему и более грубым классам точности и работающих при температуре не выше  $80^{\circ}\text{C}$  при скорости скольжения до  $0,5\text{ м/с}$  и удельном давлении до  $1,5\text{ МПа}$ . Непригодность полиамидов для восстановления деталей, выполненных по 1—2 классам шероховатости, объясняется изменением размеров полиамидного покрытия вследствие влагопоглощения.

Для нанесения покрытия изготавливается пресс-форма, которая должна базироваться на восстанавливаемой детали (рис. 5.1). Базировка пресс-формы производится по неизношенным поверхностям детали. Такими поверхностями могут быть участки цилиндрической поверхности I, III и торцовая поверхность II (рис. 5.1, а). Для выхода воздуха между частями пресс-формы должны оставаться щели шириной  $0,02\text{—}0,04\text{ мм}$ . В необходимых случаях для удаления воздуха сверлятся отверстия диаметром  $0,2\text{—}0,3\text{ мм}$ .

Поверхность восстанавливаемой детали обрабатывается для получения необходимой толщины полиамидного покрытия. Обработка по 4—5 классу шероховатости обеспечивает достаточную прочность сцепления полиамида с поверхностью детали. В необходимых случаях производится засверловка неглубоких глухих отверстий, предотвращающих смещение слоя пластмассы.

Слой металла, снимаемый с детали при ее подготовке, должен быть одинаковым по всей поверхности восстановления с целью равномерного охлаждения пластмассы. В противном случае из-за

неравномерной усадки при охлаждении ухудшаются механические свойства покрытия и снижается точность размеров.

Толщина слоя покрытия вследствие низкой теплопроводности пластмасс должна быть минимальной. Однако при большой поверхности восстановления для обеспечения равномерности покрытия толщина слоя увеличивается.

Для литья под давлением используются гидравлические или пневматические литьевые прессы с электроподогревом. Пресс-форма перед заливкой также подогревается до 100 °С.

К достоинствам восстановления деталей нанесением пластмасс методом литья под давлением относятся: отсутствие механической обработки покрытия после его нанесения, простота изготовления пресс-форм и подготовки детали, низкая стоимость восстановления (например, по сравнению с наплавкой), возможность многократного восстановления покрытия. Детали с пластмассовым покрытием обладают высокой износостойкостью, способностью работать без смазки при температурах менее 80 °С, способностью поглощать вибрации, отсутствием шума при работе.

Брак при нанесении покрытия проявляется в отслаивании покрытия и образовании трещин. Брак объясняется отсутствием сухости сырья и перегревом расплава, приводящим к хрупкости наносимого слоя и появлению трещин. Покрытие из перегретого расплава имеет более темный цвет, чем исходное сырье. Трещины появляются также в результате усадки полиамида и замасливания поверхности. Образование трещин устраняется подогревом восстанавливаемой детали.

Центробежный способ нанесения пластмасс аналогичен центробежному способу заливки подшипников скольжения. Газопламенный способ напыления пластмасс заключается в подогреве детали и нанесении на ее поверхность порошкообразной пластмассы (полиэтилен, поливинилбутираль и др.), подаваемой в газовое пламя. Этот способ применяется для защиты от коррозии деталей сложной формы, например колес вентиляторов.

Покрытие деталей пластмассами вихревым методом может осуществляться в псевдооживленном или виброкипящем слое пластмассового порошка. Для этого выпускаемые промышленностью гранулированные пластмассы измельчаются до порошкообразного состояния. Псевдооживленный слой порошка создается продуванием через слой азота или воздуха; виброкипящий слой создается колебаниями, сообщаемыми рабочей камере установки от электромагнитного вибратора или эксцентрикового механизма.

Технология напыления состоит из подготовки детали, нагрева ее, напыления пластмассы, охлаждения, термической и механической обработки. Поверхность детали, подлежащая покрытию, очищается и промывается, острые кромки закругляются. Места, не подлежащие покрытию, изолируются асбестом, фольгой, стеклотканью или покрываются кремнийорганическим лаком. Затем

Таблица 5.1

Напыляемый материал	Температура заготовки перед напылением, °С
Полиэтилен:	
низкого давления . . . . .	200—220
высокого давления . . . . .	180—200
Полипропилен . . . . .	220—240
Фторопласт-3 . . . . .	260—270
Фторопласт-4 . . . . .	280—300

деталь нагревается в печи до температуры, превышающей на 15—30 °С температуру плавления пластмассы.

Нагретая деталь помещается в рабочую камеру установки на 5—20 с в зависимости от требуемой толщины покрытия. В псевдоожоженном слое пластмассового порошка можно получить покрытие толщиной 0,1—0,5 мм, в виброкипящем слое — до 1 мм.

Термическая обработка покрытия рекомендуется для повышения его твердости и заключается в нагреве детали в масле, парафине или расплаве солей азотнокислого натрия и калия в течение нескольких минут при температуре, близкой к температуре плавления пластмассы.

При газопламенном и вихревом методах напыления используются только термопластичные материалы в виде мелкодисперсного порошка. Температура заготовок перед напылением выбирается по табл. 5.1.

Стиракрил и бутакрил относятся к пластмассам холодного отверждения.

Ранее нанесенные покрытия удаляются нагреванием до температуры 200—300 °С, выжиганием, механической обработкой.

Стиракрил представляет собой пластмассу, состоящую из мелкодисперсного порошка полимера и жидкого мономера (75 г жидкости на 100 г порошка). Смесь порошка и жидкости образует однородный раствор, самопроизвольно полимеризующийся при 20 °С. Продолжительность затвердевания слоя стиракрила составляет 0,5—1,5 ч. Затвердевший пластик хорошо обрабатывается резанием, шлифуется, полируется, обладает высокой стойкостью на истирание, не растворяется в смазочных маслах.

Стиракрил применяется для нанесения на металлические поверхности для компенсации износа. Приготовление раствора стиракрила производится непосредственно перед его использованием путем смешения порошка и жидкости в течение 2 мин круговыми движениями палочки в одну сторону. Металлические поверхности перед нанесением стиракрила тщательно обезжириваются органическим растворителем. Для предупреждения приставания стиракрила к поверхности пресс-формы эта поверхность покрывается силиконовым маслом или тонкой пленкой парафина. Бутакрил

состоит (по массе): из порошка — 10 частей, жидкости — 100 частей и графита — 15 частей.

При нанесении пластмасс холодного отверждения для компенсации усадки используются накладные элементы (рис. 5.2). Специализированные участки ремонтных цехов кроме нанесения покрытий занимаются изготовлением аппаратуры из пластмасс. При изготовлении аппаратуры и трубопроводов используется свойство пластмасс размягчаться при нагреве. Нагрев пластмасс осуществляется в термостатах или печах с электрическим, паровым, газовым обогревом. Гибка пластмассовых заготовок осуществляется при нагреве оргстекла до 105—120 °С, винипласта до 130—150 °С, полиэтилена до 100—110 °С, эбонита до 60—70 °С. При этих температурах пластмассы изгибаются под действием собственного веса. Слоистые пластмассы (текстолит, стеклотекстолит, стекловолокнит) подвергаются гибке при нагреве до 150 °С. Обработка пластмассовых заготовок осуществляется всеми видами механической обработки, свойственной металлам — распиловка, точение, фрезерование, сверление, шлифование, полирование, шабрение. Корпуса фаолитовых аппаратов собираются из отдельных заготовок, предварительно отформованных и просушенных. Стыки между заготовками промазываются фаолитом.

Формовка аппаратов прямоугольного сечения возможна с использованием специальной разборной формы, изготовленной из фанеры и деревянных брусков. Формовка проводится в несколько слоев с перекрытием стыков. На вертикальных поверхностях формы листы закрепляются с помощью фанеры и реек гвоздями. После полимеризации рейки и фанера снимаются, отверстия от гвоздей промазываются фаолитом. После формовки всех поверхностей форма разбирается и удаляется. Фаолитовые детали формуются в разборных пресс-формах и полимеризуются при 130 °С. После окончания полимеризации детали охлаждаются вместе с печью до 60 °С. Замена металлических деталей сложной конфигурации пластмассовыми в ряде случаев затруднительна из-за необходимости изготовления сложной пресс-формы. В этом случае деталь делается наборной, т. е. набранной из отдельных листовых или кольцевых заготовок. Наборную деталь целесообразно делать комбинированной, т. е. состоящей из металлических и пластмассовых элементов (рис. 5.3). Комбинированная деталь при износе зубьев восстанавливается путем замены только изношенных элементов. Антикоррозионное покрытие фторопластом деталей арматуры (клапаны вентилей, пробки чугунных кранов) проводится в электростатическом поле, создаваемом генератором. Детали размещаются в электропечи и с помощью пистолета с распылителем

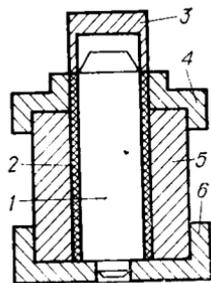


Рис. 5.2. Пресс-форма для заливки бут-акриала:

- 1 — формующий стержень; 2 — заливка; 3 — подпрессовочное кольцо; 4 — накладное кольцо; 5 — деталь; 6 — основание

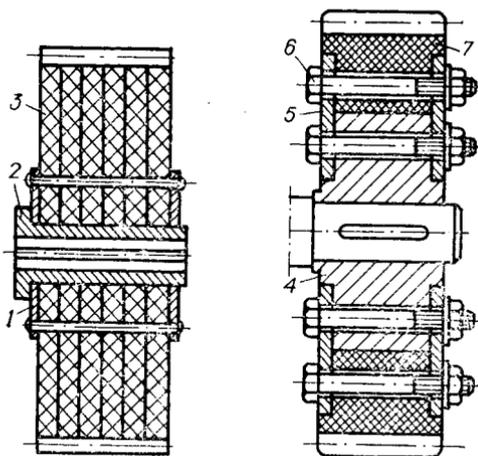


Рис. 5.3. Наборные шестерни из пластмасс:

1, 5 — металлические диски; 2 — металлическая втулка; 3 — пластмассовый диск; 4 — металлическая ступица; 6 — болт; 7 — пластмассовый обод.

Для защиты оборудования фторопластом применяется листовый или пленочный материал. Однако фторопласт имеет низкие адгезионные свойства, не имеет вязкотекучего состояния вплоть до температуры разложения, поэтому получение фторопластовых покрытий оклейкой, а также методами вихревого, газопламенного и электростатического напыления затруднительно. Для повышения адгезионной способности изготавливается двухслойное покрытие, состоящее из фторопласта-4 и дублирующего материала (стеклоткань).

Подготовленные полотна фторопластовой пленки и стеклоткани укладываются один на другой, а между ними помещается связующий материал — пленка из фторопласта-4МБ. Полученный трехслойный материал сворачивается в рулон и подвергается термообработке при 360—380 °С, в процессе которой происходит соединение слоев материалов. Затем полотно раскраивается и эпоксидным клеем стеклотканевой стороной приклеивается к оборудованию. Прижим для равномерности осуществляется наддувной камерой или мешками с песком. Описанный метод применяется для футеровки емкостей и газоходов.

Антикоррозионное покрытие внутренней поверхности аппаратуры армированным полиэтиленом осуществляется листами встык или внахлестку. Для этого поверхность аппарата обрабатывается пескоструйным способом и покрывается клеем 88. На заготовки из полиэтиленовых листов также наносится 2—3 слоя клея 88 с просушкой каждого слоя в течение 20—30 мин при 20 °С. Заготовки накладываются на металлическую поверхность и прикатываются роликами с последующей проваркой швов сварочными

осуществляется напыление фторопласта с наполнителем. Расстояние между покрываемой поверхностью и пистолетом должно быть не менее 150 мм. После напыления первого слоя производится его оплавление при 260 °С в течение 40 мин, затем наносится еще 2—3 слоя, после чего наносится последний слой из чистого фторопласта без наполнителя, оплавление которого осуществляется при 290 °С в течение 2 ч. Далее печь отключается и детали остывают вместе с ней. После этого сопрягаемые поверхности деталей притираются на станке.

пистолетами. При соединении заготовок внахлестку места соединения освобождаются от армирующей ткани.

Полипропилен имеет низкую адгезию к металлу. Крепление полипропилена, армированного стеклотканью, к стенкам аппаратов производится с помощью эпоксидного клея, а швы провариваются. Так как тепловое расширение пластмасс выше, чем стали, пластмассовая футеровка после нескольких температурных циклов вспучивается и разрывается. В пластмассовых воздуховодах (из винипласта, полипропилена) под действием агрессивной среды разрушаются места сварки стыков. При ремонте швы защищаются двумя слоями стеклоткани, укладываемой с промазкой эпоксидной смолой. Фторопласт для защиты рабочих поверхностей оборудования от налипания продуктов наносится методом напыления в электростатическом поле. Клейка стеклопластика осуществляется смолой ПН-1, смешанной с отходами стекложгута. Например, приклейка к трубе кольца под накидной фланец осуществляется следующим образом. Труба ставится торцом на гладкую поверхность, покрытую целлофаном. Кольцо устанавливается на этой же поверхности соосно с трубой. В зазор между трубой и кольцом заливается смола. Через 1,5—2,0 ч борт готов и не требует механической обработки. Пластмассовые (чаще всего фторопластовые) манжеты изготавливаются в пресс-форме. Пластмассовые детали машин и аппаратов при сборке (монтаже) иногда ломаются. Для исключения поломок детали целесообразно нагревать в горячей воде с температурой 90 °С. После нагрева детали становятся эластичными и легко монтируются.

Повреждения пластмассового покрытия различных рукояток устраняются зачисткой, нанесением смеси фаолитовой замазки с графитом, служащим для придания черного цвета, сушки и шлифовки. Для заделки поврежденных участков аппаратуры применяются эпоксидные смолы. Эпоксидные смолы при отверждении образуют хрупкие покрытия. Для снижения их хрупкости и уменьшения внутренних напряжений в состав клея вводятся пластификаторы (полиэферы, дибутилфталат, тиоколы, трикрезилфталат и др.) в количестве 5—30 частей (по массе). Промышленностью выпускаются эпоксидные компаунды, в составе которых уже имеется пластификатор. Для повышения прочности, адгезии и улучшения других свойств в эпоксидный клей вводятся наполнители — порошкообразные и волокнистые материалы, алюминиевая пудра, кварцевая мука или песок, асбест, стекловолокно, графит, стальные и чугунные опилки, тальк. Наполнители снижают усадку и сближают коэффициенты расширения эпоксидной смолы и металла.

Механическая прочность отвердевших эпоксидных паст меньше прочности чугуна примерно в два раза, а при армировании стеклотканью близка к прочности стали. Эпоксидная паста имеет незначительную усадку и применяется для ремонта деталей,

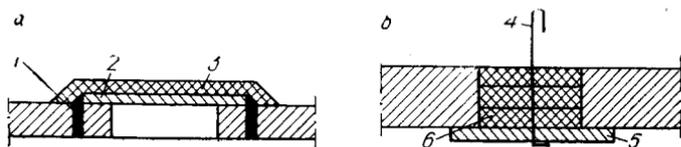


Рис. 5.4. Заделка пробоин эпоксидной пастой:

*a* — внахлестку; *б* — заподлицо;

1 — клеевая заклепка; 2 — металлическая накладка; 3, 6 — эпоксидная заливка; 4 — проволока; 5 — поддерживающая пластина.

эксплуатируемых при температуре до 250 °С. Наибольшее распространение получили эпоксидные смолы ЭД-20 (бывшая ЭД-5) и ЭД-16 (бывшая ЭД-6). Смола ЭД-16 представляет собой вязкую жидкость светло-коричневого цвета. Смола ЭД-20 по сравнению со смолой ЭД-16 имеет меньшую вязкость и применяется в тех случаях, когда для заделки тонких трещин и пор необходим более жидкий клеевой состав. В этом случае в смолу вводится только отвердитель, а наполнители не вводятся. Заделка пробоин и сквозных коррозионных отверстий емкостной аппаратуры может производиться эпоксидной смолой внахлестку или заподлицо (рис. 5.4). При установке заплат в стенке аппарата по периферии пробоины сверлятся отверстия диаметром 3—4 мм на расстоянии примерно 30 мм одно от другого. Отверстия заполняются эпоксидной пастой. Эпоксидная паста наносится также на края пробоины, на которые затем с прижимом устанавливается металлическая пластина. Поверх пластины и клеевых заклепок, образовавшихся после заполнения пастой просверленных сквозных или глухих отверстий, наносится несколько слоев эпоксидной пасты, проложенных стеклотканью. Металлическая пластина может устанавливаться также на винтах, головки которых вместе с пластиной покрываются затем эпоксидной пастой. Если установка заплат осуществляется с внутренней стороны аппарата, пробоина заполняется пастой с наружной стороны для выравнивания наружной поверхности аппарата.

На рис. 5.4, *б* показана заделка отверстия заподлицо с обоими поверхностями стенки. После отверждения пасты поддерживающую пластину удаляют, а выступающие концы проволоки отрезают. Заделка заподлицо применяется только для элементов аппаратуры, не подверженных нагрузкам. Эрозионный износ корпусных деталей устраняется эпоксидной смолой. Для восстановления изнашивающихся поверхностей может применяться также клеевая композиция, содержащая 30% эпоксидного клея и 70% кварцевого песка. При значительной площади, подвергаемой восстановлению, после нанесения композиции деталь рекомендуется обернуть полиэтиленовой пленкой для предохранения от стекания клеевого состава и сохранения формы покрытия. При износе чугунных крышек вакуум-насосов уменьшается производитель-

ность. Восстановление крышек с применением эпоксидного состава выполняется следующим образом. Раковины на внутренней поверхности крышки очищаются до чистого металла, очищенные поверхности обезжириваются ацетоном и сушатся, затем на них наносится слой эпоксидного состава толщиной до 1 мм, а на него накладывается заплата из стеклоткани толщиной 0,3 мм и уплотняется роликом. После этого опять наносится эпоксидный состав и стеклоткань до получения слоя нужной толщины. Наружный слой стеклоткани покрывается эпоксидным составом и выдерживается 24 ч при комнатной температуре. Эпоксидная смола используется при восстановлении посадочных шеек валов под подшипники, для заливки межвитковой и пазовой изоляции электродвигателей для исключения попадания туда пыли и масла. Эпоксидные составы применяются при ремонте опорных поверхностей под вкладыши подшипников скольжения. Эпоксидный состав наносится на подготовленную поверхность, отверждается и подвергается механической обработке.

**Сварка** пластмассовых аппаратов может проводиться с присадочным материалом и без него. Сварка с присадочным прутком осуществляется горячим воздухом, производящим расплавление свариваемых поверхностей и прутка. Температура воздуха при сварке полиэтилена 250 °С, винилпласта — 260—270 °С.

Сварка встык осуществляется без присадочного материала. Участки деталей, подлежащие сварке, нагреваются до вязкотекучего состояния и соединяются под давлением 0,2—0,5 МПа с последующим охлаждением без снятия нагрузки. Таким способом свариваются фторопластовые пленки, нагретые до 370 °С, листы из органического стекла, нагретые до 140—145 °С, детали из полипропилена, нагретые до 210—240 °С, и т. д.

Пластмассовые трубы, по сравнению с металлическими, имеют малую массу, высокую коррозионную стойкость, низкую шероховатость поверхности стенок и, как следствие, низкое гидравлическое сопротивление, меньшую склонность к образованию на стенках отложений.

Трубы изготавливаются в основном из термопластичных пластмасс (полиэтилена, полихлорвинила, полипропилена, поливинилхлорида, винилпласта, фторопласта), несмотря на то, что они имеют меньшую прочность по сравнению с трубами из терморезистивных пластмасс. Стеклопластиковые трубы на основе эпоксидной смолы по прочности приближаются к прочности стальной трубы. Резка пластмассовых труб осуществляется фрезой или дисковой маятниковой пилой, формование буртов и раструбов — на специальных установках, содержащих зажимное устройство, электропечь для нагрева концов труб, сменные матрицы и пуансоны. Формовка раструбов полиэтиленовых труб, необходимых для фланцевых соединений, ведется при предварительном нагреве концов труб. Нагрев осуществляется в глицерине или в специальном нагревателе, изготовленном из перфорированной асбоцементной трубы, на

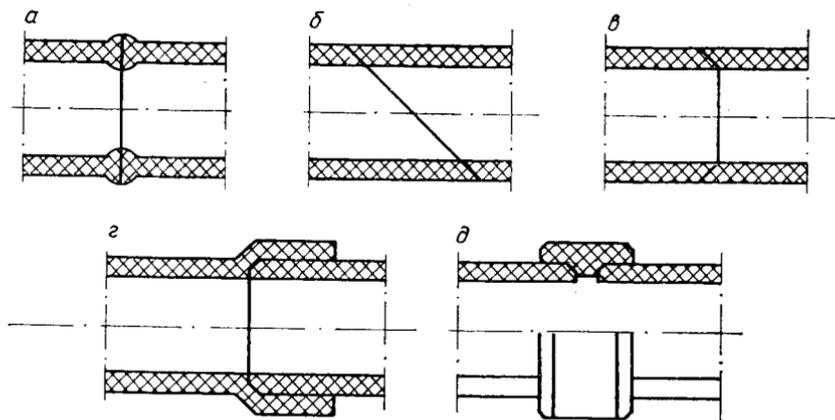


Рис. 5.5. Конструкции сварных соединений труб из термопластов: а — встык; б — в «кус»; в — в конус; г — в раструб; д — с накладной муфтой.

которую намотана спираль, покрытая асбестом. Разбортовка фторопластовых труб проводится в пресс-форме. Для этого в местегиба выполняется подрезка трубы, разогрев трубы до 200—250 °С паяльной лампой и отбортовка в пресс-форме с последующей выдержкой при давлении не менее 0,5 МПа в течение 10—20 мин и охлаждении в пресс-форме.

Для изготовления конусного перехода из полиэтиленовой трубы на трубе ножовкой делаются два клинообразных выреза, кромки которых после разогрева патрубка сжимаются и свариваются.

Конусный переход из полиэтиленовой трубы можно изготовить также с помощью пресс-формы, имеющей деревянные матрицу и пуансон. Формовка перехода осуществляется после предварительного разогрева патрубка. Вырезка клиньев и сварка при этом не требуются. Гнутье фторопластовых труб проводится так же, как и металлических. Труба набивается песком, нагревается до 260 °С, изгибается и охлаждается. После охлаждения трубы песок высыпается. Аналогичным образом изготавливаются отводы из фторопластовых труб. Для получения отводов с малым радиусомгиба набитая песком труба разогревается до 200 °С и забивается в разрезной крутозагнутый стальной отвод. При эксплуатации отводы могут ломаться под действием веса проходящих продуктов. Для повышения срока службы отводы армируются или монтируются на опорах. Соединение концов труб осуществляется сваркой, склеиванием, резьбовым или фланцевым соединением. Наиболее часто применяется сварка. На рис. 5.5 представлены конструкции сварных соединений. Беспрутковая сварка встык (рис. 5.5, а) осуществляется при разогреве торцов труб до оплавления поверхностного слоя путем контакта с нагретыми до 220—260 °С металлическими поверхностями. Затем торцы труб со-

единяются под небольшим давлением, т. е. плотно прижимаются. Аналогичным образом осуществляется сварка в «ус» и в конус, но прочность сварного шва при этих способах оказывается выше.

При беспрутковой сварке в раструб и с накладной муфтой (рис. 5.5, *г* и *д*) возрастает площадь сварного шва, что обеспечивает повышение прочности и герметичности соединения.

При стыковке в раструб на концах соединяемых труб снимаются фаски, формируется раструб на специальной оправке после разогрева конца трубы длиной 1—1,5 диаметра до размягчения и производится стыковка труб при предварительном нагреве обоих концов.

При прутковой сварке одновременно разогреваются струей горячего воздуха концы труб и сварочный прут, который приваривается прижимом к месту стыка. Соединение труб может осуществляться стальной муфтой, которая при наворачивании на трубы одновременно нарезает на них резьбу и плотно соединяет торцы труб (рис. 5.6). Резьбовое соединение снижает прочность концов труб, поэтому этот вид соединения применяется только для трубопроводов, требующих частой разборки для чистки и осмотра. Соединения склеиванием выполняются в раструб и с накладной муфтой. Раструб изготавливается с применением калибрующей оправки или без нее. В последнем случае на торце одной трубы снимается наружная фаска под углом 15—20°, на торце другой — внутренняя фаска под углом 45°. Затем труба с внутренней фаской нагревается до 120—150 °С и свободно насаживается на холодную трубу с наружной фаской. Отформованный раструб охлаждается водой, после чего положение сопряженных концов труб фиксируется меткой. После разъединения труб концы их зачищаются шкуркой для придания шероховатости, обезжириваются растворителем, на концы труб по всей площади контакта наносится клей и трубы соединяются с совмещением меток. Для равномерного распределения клея после введения трубы в раструб рекомендуется повернуть ее на 30—40°. При монтаже труб раструбы располагаются навстречу потоку продуктов.

Аналогичным образом соединяются трубы с применением накладной муфты из отрезка трубы, внутренний диаметр которой равен наружному диаметру стыкуемых труб или несколько больше его. Длина муфты должна равняться двум-трем диаметрам стыкуемых труб.

Соединение труб возможно также с помощью муфты, которая формируется по месту. Для более прочного соединения на наружной поверхности соединяемых концов труб делаются кольцевые канавки или глухие отверстия. После установки на стык разъемной формы под нее нагнетается самотвердеющий раствор, образующий муфту.

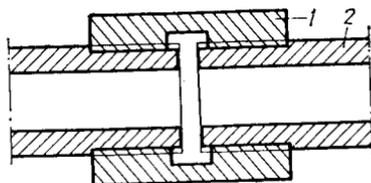


Рис. 5.6. Соединение пластмассовых труб муфтой:

1 — муфта; 2 — труба.

Для футеровки внутренней поверхности стальных труб применяется полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, фторопласт, нентапласт. Полимеры, используемые для футеровки, могут быть в виде труб или в виде листового материала. Футеровка листовыми материалами применяется для труб большого диаметра длиной не более 3 м. Для футеровки труб малого диаметра (менее 150 мм) и большой длины в качестве футерующего слоя используются пластмассовые трубы.

Процесс футеровки металлических труб листовым материалом выполняется в следующем порядке. Из листа полимерного материала вырезается полоса шириной на 20—30 мм больше периметра внутренней поверхности трубы. Края полосы смазываются клеем, на металлической трубе-оправке из полосы формируется рукав, сваривается шов, и готовый рукав снимается с оправки.

Внутренняя поверхность футеруемой трубы очищается с помощью пескоструйной обработки, продувается сжатым воздухом и промывается растворителем. Затем очищенная поверхность трубы покрывается слоем клея путем свободного налива его внутрь вращающейся трубы. После слива избытка клея и подсушки оставшейся пленки клея наносится второй слой клея и в трубу вводится предварительно изготовленный рукав, покрытый клеем с наружной стороны.

После введения рукава в трубу один конец его отбортовывается на фланец (рис. 5.7, а). Для прижатия рукава к стенкам трубы используется резиновая груша, которая с помощью троса проталкивается вдоль всей трубы (рис. 5.7, б). Для ускорения процесса полимеризации клея труба подогревается снаружи. После отверждения клея отбортовывается второй конец рукава. Применение находит также способ пневматического футерования, сущность которого заключается в том, что пластмассовая труба, введенная в стальную трубу и разогретая до высокоэластичного состояния, опрессовывается сжатым воздухом под давлением 0,5—1 МПа, выдерживается для склеивания с металлической трубой под этим давлением, а затем охлаждается воздухом под давлением. Вместо сжатого воздуха может использоваться горячая вода, масло, глицерин, температура нагрева которых должна быть равна температуре размягчения полимера.

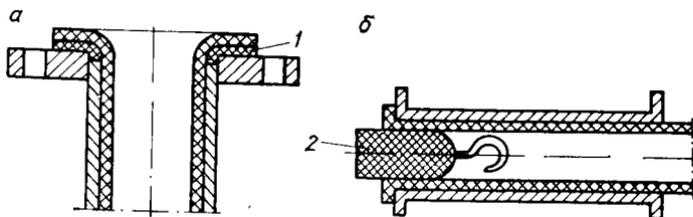


Рис. 5.7. Футерование трубы:

а — отбортовка футерующего слоя; б — обжатие резиновой грушей;  
1 — клеевой слой; 2 — груша.

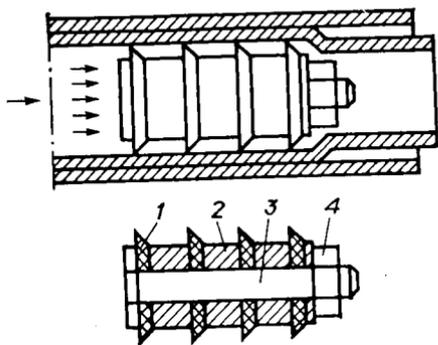


Рис. 5.8. Футерование труб «плавающей пробкой»: 1 — резиновая шайба; 2 — дистанционное металлическое кольцо; 3 — ось; 4 — гайка.

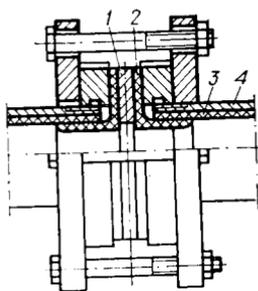


Рис. 5.9. Фланцевое соединение с вклеенной пластмассовой втулкой: 1 — прокладка; 2 — пластмассовая втулка; 3 — футерующий слой; 4 — металлическая труба.

Для прижатия пластмассовой трубы к металлической может быть использована плавающая пробка (рис. 5.8), состоящая из набора шайб из жесткой резины. Такая пробка прогоняется сжатым воздухом через пластмассовую трубу, обеспечивая плотное прилегание ее к поверхности металлической трубы и вытесняя воздух из зазора между трубами.

Кроме фланцевого соединения с отбортовкой футерующего слоя применяется соединение с вклеенной пластмассовой втулкой (рис. 5.9). Антикоррозионные покрытия из лакокрасочных материалов, наносимые на внутреннюю поверхность труб, используются для защиты труб от воздействия водных сред и нефтепродуктов. Нанесение покрытий осуществляется способами погружения, свободного или принудительного налива. Способ погружения применим для одновременного нанесения покрытия на внутреннюю и наружную поверхности труб и заключается в погружении пакета труб в лакокрасочный материал. Способ свободного налива лакокрасочного материала в трубу при одновременном ее вращении осуществляется путем подачи материала по шлангу в верхний конец трубы, установленной под углом  $30^\circ$  к вертикали. Покрытия из порошковых материалов (мелкодисперсные порошки фторопласта, пентопласта, полиэтилена) наносятся струйным методом и электростатическим. При струйном методе порошок распыляется по внутренней поверхности трубы, нагретой несколько выше температуры плавления полимера, что обеспечивает оплавление порошка и образование ровного плотного покрытия. Труба вращается на приводных роликах и совершает поступательное перемещение вдоль оси неподвижной электропечи и штанги с форсункой-распылителем, устанавливаемой внутри трубы.

Для устранения повреждений трубопроводов, когда применение сварки недопустимо, используется клеевая заделка

повреждения. Сначала путем зачеканки, забивки пробок или другими способами прекращается утечка продукта. Затем ведется подготовка поверхности к склеиванию (очистка, обезжиривание), нанесение и отверждение клеевого состава. Заделка сквозных свищей осуществляется нанесением клея с последующей накладкой 3—4 слоев стеклоткани, покрытой с обеих сторон клеем, или обмоткой трубы стеклотканью, пропитанной клеем. При высоком давлении среды поверх стеклоткани целесообразно устанавливать металлический хомут.

Заделка крупных трещин осуществляется накладной муфтой с герметиком (рис. 5.10). Муфта состоит из двух половин, стягиваемых болтами. На концах муфты имеются уплотнения. Герметик заливается в муфту через нижний штуцер, верхний штуцер служит для выхода воздуха.

Возможны следующие виды разрушений полимерных покрытий: растрескивание в результате старения или применения некондиционных полимерных материалов, отслаивание покрытий на отдельных участках вследствие низкого качества подготовки поверхности к нанесению покрытия, а также возникновение очагов коррозии, образование пузырей из-за проникновения под покрытие агрессивной жидкости, износ покрытия. Ремонт полимерных покрытий состоит из следующих операций: удаление загрязнений, частичное или полное удаление покрытия, подготовка поверхности к нанесению покрытия, нанесение нового полимерного покрытия, контроль качества покрытия.

Удаление продуктов коррозии с металлической поверхности производится травильной пастой, механическими методами, дробеструйной обработкой, преобразователями ржавчины.

Нанесение покрытий осуществляется пневматическим распылением, распылением под давлением, струйным обливом, кистью, шпателем.

Контроль покрытия ведется визуально. На поверхности покрытия не должно быть вздутий, наплывов и трещин. В противном случае ремонт повторяется.

**Склеивание** деталей проводится при выполнении следующих работ: 1) вклейке подшипников качения и втулок, замене пайки, сварки; 2) ремонте водяной, воздушной и масляной арматуры, герметизации труб; 3) заливке трещин, наклейке заплат.

В ремонтной практике находят применение клеи БФ-2, БФ-6, клей 88, эпоксидные клеи и др.

Склеивание осуществляется для любого сочетания следующих материалов: металлов; пластмасс, резины, эбонита, органического стекла, фарфора, стекла, дерева, фибры, текстиля. Механическая

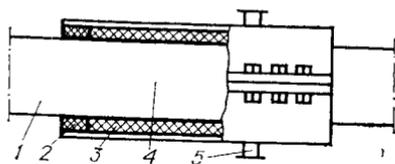


Рис. 5.10. Накладная муфта:  
1 — труба; 2 — уплотнение; 3 — герметик; 4 — дефект; 5 — штуцер.

прочность клеевого соединения зависит как от качества клея, так и от качества подготовленных к склеиванию поверхностей. С помощью клея заделываются трещины и пробоины в корпусных деталях, восстанавливаются неподвижные сопряжения деталей, заливается вмятины и различные неровности на кожухах.

Для восстановления неподвижных сочленений детали очищаются от продуктов коррозии. Затем для увеличения площади склеивания их поверхностям придается шероховатость путем обработки резцом, напильником или наждачным полотном. После этого детали обезжириваются и тщательно сушатся. Клей наносится на поверхность кистью или роликом, затем склеиваемые поверхности совмещаются и стягиваются струбцинами, нажимными планками с винтами или другими приспособлениями на все время отверждения. Окончательная обработка состоит в механической зачистке от наплывов клея и в создании плавного перехода швов к поверхности детали.

Наибольшее распространение получили клеи на основе эпоксидных смол, а для восстановления неподвижных посадок — клей БФ.

Соединения на эпоксидном клее характеризуются пределом упругости на сдвиг: стали со сталью — 20,0—30,0 МПа; стали с чугуном или чугуна с чугуном — 15,0—20,0 МПа; стали с бронзой или бронзы с бронзой — 10,0—13,0 МПа. Эти клеи обладают антикоррозионными свойствами, устойчивы против воздействия щелочей, кислот, керосина, бензина и смазочных масел. Прочность клеевого соединения практически не изменяется с повышением температуры до 100 °С.

Технология применения эпоксидных клеев проста, не требует сложного и дорогого оборудования и заключается в приготовлении клея, подготовке деталей, нанесении клея на восстанавливаемую поверхность, выдержке при определенной температуре, последующей зачистке шва и контроле выполненной работы.

Основным компонентом клеев являются эпоксидные смолы ЭД-16, ЭД-20, ЭД-40, которые принимаются за 100% (по массе). Пластификатором (10—16% от массы) чаще всего служит дибутилфталат, придающий клею эластичность. Наполнители повышают механическую прочность клея и улучшают его сцепляемость с основным металлом. Для ремонта стальных и чугунных деталей в качестве наполнителя может использоваться железный порошок (20—60%), а при заделке больших трещин и пробоин — стеклоткань толщиной 0,1—0,3 мм. Отвердители (полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, фталевый и малеиновый ангидриды) вводятся в клей в количестве 7—16% от массы.

Полиэтиленполиамин и гексаметилендиамин применяются для восстановления деталей, работающих при температуре до 100 °С, а фталевый и малеиновый ангидриды — при температуре до 120 °С.

Срок годности клея после ввода отвердителя — 15—20 мин. При использовании малеинового ангидрида срок годности клея

при нормальной температуре — до 5 суток. Клей готовится в клеешалке. Сначала в нее наливают смолу и дибутилфталат. После перемешивания в течение 1—2 мин ( $n = 300 \div 400$  об/мин) в смесь вводятся заранее приготовленные наполнители и перемешиваются 2—4 мин. Готовая смесь охлаждается при температуре 15—20 °С.

Отвердитель вводится в смесь непосредственно перед использованием клея и тщательно перемешивается в течение 5 мин.

Полиэтиленполиамин до применения нагревается в открытой посуде в сушильном шкафу до 100—120 °С и выдерживается при комнатной температуре в течение 3 ч.

При заделке трещин дефектное место зачищается до металлического блеска. Концы трещин засверливаются сверлом диаметром 3—5 мм. Кромки разделяются под углом 60—75° на глубину 0,7—0,8 толщины поврежденной стенки. Для лучшего сцепления клеевого слоя с материалом детали ее поверхность насекается. При заделке пробоины на нее предварительно накладывается металлическая заплата из мягкого листового железа.

За 5—10 мин до нанесения клея подготовленное место обезжиривается ацетоном или другим растворителем, вытирается насухо и проверяется каплей воды: вода на обезжиренной поверхности должна расплываться. Сначала небольшое количество клея шпателем втирается тонким слоем по обеим сторонам разделки трещины на общую ширину 20—25 мм. После выдержки в течение 3—5 мин наносится второй слой. При длине трещины более 400 мм, а также при большой ее ширине заделка осуществляется наложением заплат. Затем деталь сушится. Для отверждения клея при комнатной температуре необходимо применять полиэтиленполиамин. Продолжительность сушки — 24 ч, при подогреве до 120 °С она уменьшается до 6—8 ч. При использовании фталевого и малеинового ангидрида сушка проводится при температуре 110—120 °С. Склеенная поверхность обрабатывается обычными слесарно-механическими способами; отвердевший клей следует обтачивать при  $n \leq 400$  об/мин и подаче 0,05—0,10 мм/об, при сверлении  $n \leq 200$  об/мин. Карбинольные клеи БФ-2, БФ-4, БФ-6 являются спиртовыми растворами модифицированной фенолоформальдегидной смолы. Эти клеи позволяют получать герметичный шов, стойкий к воде и нефтепродуктам и выдерживающий нагрузку на разрыв до 20 МПа. Клеевое соединение не разрушается при температуре до 60 °С. Клей ВС-350 применяется для склеивания деталей из стали, меди, дюралюминия, пластмасс. Клей устойчив к действию топлива, органических растворителей, масел. На подготовленные поверхности деталей наносится первый слой клея, через 1 ч — второй слой, затем детали соединяются при 0,1—0,3 МПа и осуществляется отверждение клея при 200 °С в течение 2 ч.

Для быстрого и надежного склеивания металлов, резины, пластмасс, стекла, бетона и других материалов применяется клей

«Циакрин», состоящий в основном из эфиров  $\alpha$ -цианакриловой кислоты. Быстрота действия клея объясняется тем, что отвердителем для него является влага, содержащаяся на поверхности склеиваемых деталей.

## 5.2. СТЕКЛО

Силикатное стекло применяется в оборудовании в основном в виде стеклянных труб и плоских круглых стекол. Ремонт в данном случае заключается в замене поврежденных деталей. При этом выполняются такие операции, как резка стеклянных труб, вырезка круглых стекол, выполнение отверстий в стекле.

Резка труб осуществляется путем местного нагрева с резким охлаждением, стеклорезными инструментами, абразивным кругом. При резке путем местного нагрева стеклянная труба плотно охватывается витком нихромовой проволоки, виток включается в электрическую сеть через понижающий трансформатор и нагревается до ярко-красного накала. Затем после отключения сети и удаления витка нагретое место охлаждается на воздухе или обливом водой. В результате местного нагрева и охлаждения стекло дает кольцевую трещину. После обрезки концы труб обрабатываются карборундовым кругом или вручную куском карборундового камня.

Резка стеклянных труб осуществляется также отрезным алмазным кругом при вращении трубы. Керамические и стеклянные трубки можно резать с помощью абразивного круга или с помощью стеклореза. На рис. 5.11 показано приспособление для резки труб, содержащее режущий ролик из твердого сплава от стеклореза, рычаг с прижимными роликами и груз. При вращении трубы на ней делается надрез, после чего труба легко отламывается. Резка стеклянных труб осуществляется путем надреза силитовым стержнем с предварительным нагревом оправкой. Труба устанавливается на резиновые ролики и к ней весом опоры поджимается стеклорез (рис. 5.12). После поворота трубы на  $360^\circ$  получается ровный надрез, скол также ровный. Вырезка круглых стекол для манометров и защитных очков проводится на токарном станке. Стекло зажимается между планшайбой токарного станка и вращающимся центром с плоским торцом. Поверхности планшайбы и центра, поджимающие стекло, должны быть гуммированы. Стеклорез устанавливается в суппорте токарного станка. После выполнения реза кромки стекла легко отламываются по окружности выполненного реза. Вырезка круглых стекол может проводиться и на свер-

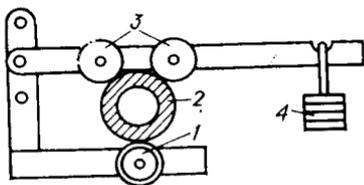


Рис. 5.11. Приспособление для резки стеклянных труб:  
1 — режущий ролик; 2 — стеклянная труба; 3 — прижимной ролик; 4 — груз.

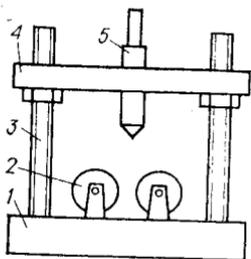


Рис. 5.12. Приспособление для резки стеклянных труб:

1 — основание; 2 — резиновый ролик; 3 — стойка; 4 — опора; 5 — стеклорез.

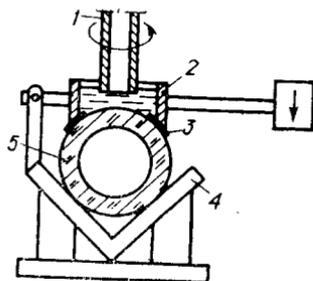


Рис. 5.13. Приспособление для подвода охлаждающей жидкости при сверлении стекла:

1 — сверло; 2 — форма; 3 — прокладка; 4 — призма; 5 — стеклянная труба.

лильном станке или специальным ручным приспособлением, на котором штангой с колесиком из твердого сплава, установленным на определенном радиусе, круговым движением осуществляется надрезка стекла. Затем легким постукиванием заготовки с обратной стороны отрезанную часть отделяют.

Проделать отверстия в стекле с высокой точностью и хорошим качеством можно на ультразвуковом станке. На сверлильном станке отверстия в стекле можно выполнять сверлами с алмазным режущим элементом. На рис. 5.13 представлено приспособление, служащее для зажима трубы и создания ванны с охлаждающей жидкостью (водой) при сверлении трубчатым сверлом. Отверстие в стекле сверлится вращающейся медной трубкой, наполненной абразивным порошком. Абразивный порошок, попадающий под торец трубки, постепенно вышлифовывает в стекле кольцевую канавку.

Для получения отверстия участок стекла очищается от жира бензином, спиртом или ацетоном; насыпается мелкий мокрый песок, а в песке делается воронка, в которую заливается расплавленный припой, свинец или олово. После застывания легкоплавкого металла образовавшийся при застывании металлический конус удаляется вместе с прилипшим столбиком стекла. Полученное отверстие имеет ровные края.

При выполнении монтажных работ возникает необходимость в соединении труб. Специфичной является операция сварки стеклянных труб.

В монтажных условиях осуществляется газоэлектрическая сварка стеклянных труб, включающая следующие операции: установка и центровка труб, разогрев торцов газокислородным пламенем до 650—750 °С (температура размягчения стекла), включение с помощью горелок-электродов в двух диаметрально противоположных концах стыка на 3—4 мин электрического тока

высокого напряжения, отжиг полученного шва газокислородным пламенем. Сварка стеклянных труб токами высокой частоты проводится с предварительным нагревом торцов труб до 500—700 °С ацетилено-кислородным пламенем, так как при более низкой температуре стекло не проводит ток. Сварка стеклянных фасонных деталей осуществляется ТВЧ или ацетилено-кислородным пламенем. Для снятия внутренних напряжений стеклянные детали после сварки должны подвергаться отжигу в газовой или электрической муфельной печи.

При поломке стеклянных труб возможен ремонт для восстановления герметичности и прочности. В случае поломки конца стеклянной трубы она наращивается металлической втулкой на клею БФ-2 или эпоксидной смоле. Втулка центруется по наружному либо внутреннему диаметру трубы. При появлении трещин в стекле прочность стеклянной трубы обеспечивается армированием поврежденного участка намоткой стеклоткани на эпоксидном связующем.

### 5.3. РЕЗИНА

Резина как конструкционный материал применяется для изготовления: 1) защитных покрытий химической аппаратуры; 2) шлангов; 3) транспортерных лент; 4) деталей машин (прокладки, уплотнения, амортизаторы, эластичные муфты, бандажы колес, приводные ремни).

Крепление резины к металлу осуществляется приклеиванием, вулканизацией, механическими способами.

Приклеивание резины заключается в подготовке поверхностей металла и резины, нанесении на них слоя клея, прикатке резины к металлу и выдержке соединения в течение времени, необходимого для полимеризации клея. Прочность крепления зависит от применяемого клея и не превышает при испытании на отрыв 3 МПа. Клеевое соединение уступает соединению с помощью вулканизации по таким показателям, как стойкость к агрессивным средам и вибрациям, тепло- и маслостойкость.

При вулканизации резиновая смесь, содержащая серу и ускорители, нагревается до 130—160 °С. В результате сложного физико-химического процесса макромолекулы каучука образуют пространственную структуру и каучук из пластичного превращается в прочный эластичный материал.

При вулканизации в формах получают детали заданной формы и размеров. В случае вулканизации без форм конфигурация и внешний вид детали могут значительно отличаться от требуемых. Процесс заключается в очистке металлической поверхности, нанесении на нее нескольких слоев клея и их просушке, накладке резины, вулканизации. Вулканизацию при ремонте шлангов можно осуществлять, обернув поврежденное место с уложенной сырой резиной полосками сухой бязи. Вулканизация



Рис. 5.14. Сверло-оправка.

протекает в печи в течение 3 ч при температуре 110 °С, после чего бязь снимается.

Механическое крепление выполняется в виде болтовых соединений и применяется в основном

для крепления к металлу резинокордных листовых материалов. Сверление отверстий в резиновых листах осуществляется сверлом на малой частоте вращения, чтобы сверло на выходе не рвало резину, или с помощью сверло-оправки (рис. 5.14), изготавливаемого из инструментальной стали.

Резинотканевые и резинометаллические шланги применяются для соединения элементов гидравлических и пневматических систем, для транспортировки воды, пара, воздуха к аппаратам, подверженным вибрации, в качестве элементов оборудования для газовой резки.

Они выполняют роль гибких трубопроводов, но являются дорогими, так как изготавливаются из дефицитных материалов по сложной технологии. Наиболее часто из строя выходят герметизирующие слои эластомерных рукавов, реже — силовые слои (каркас), изготовленные из текстильных или металлических элементов.

При эксплуатации гибких шлангов наблюдается разрыв шлангов или выпрессовка (ослабление посадки) штуцеров.

Поврежденные концы рукавов обрезаются ножовкой или на токарном станке фрезой при установке шланга в оправку, зажатой в резце-держателе.

Соединение разорванного шланга осуществляется с помощью металлического штуцера, на который надеваются концы шланга и закрепляются проволочными или гофрированными листовыми зажимами.

Шланг соединяется со штуцером следующим образом. В шланг вставляется штуцер, а на наружную поверхность шланга надевается цилиндрический наконечник (обойма) из отожженной стали. Наконечник обжимается для фиксации шланга на штуцере. На рис. 5.15 показаны приспособления для обжатия наконечника. Цилиндрическое приспособление представляет собой матрицу из двух половин. Коническое приспособление состоит из корпуса и нескольких обжимных вставок. Шланг вводится в отверстие корпуса, закрепляется ступенчатыми вставками и обжимается давлением пресса на вставки.

Рис. 5.15. Приспособление для обжатия шлангов:  
а — цилиндрическое; б — коническое.

Соединение шланга со штуцером обеспечивается также с помощью разрезной втулки, имеющей цилиндриче-

скую и коническую части и обжимное кольцо. Кольцо напрессовывается по конической части втулки и устанавливается в рабочем положении на цилиндрической части. Подобное соединение является надежным, легкокользящим и используется многократно при восстановлении шлангов.

При установке новых шлангов концы их зачищаются до металлической оплетки. Выполнение этой трудоемкой операции производится на специальном станке.

Шланги гидравлических систем подвергаются гидравлическому испытанию по тем же нормам, что и технологические аппараты.

Транспортерные ленты изнашиваются с одной стороны от воздействия продукта и ножей или других очистных устройств. При ремонте возможен разворот транспортерных лент изношенной стороной.

В процессе эксплуатации транспортерные ленты вытягиваются и изнашиваются по толщине. Лишняя длина устраняется вырезкой части ленты со стыковкой концов вулканизацией при нагреве и под давлением. Если износ по ширине ленты неравномерный, на изношенные места накладывается слой сырой резины, которая заполняет все пустоты и позволяет создать давление по всей ширине ленты.

Стыковка транспортерных лент вулканизацией требует подготовки и зачистки кромок, наложения нескольких слоев клея и каландрованной резины. Вулканизация проводится на прессе, основными деталями которого являются плиты с электроподогревом и гидравлический домкрат. Вулканизация ведется при температуре плит 150 °С и давлении не менее 1 МПа.

Сквозные повреждения и порезы транспортерных лент устраняются следующим образом. Ремонтное место вокруг пробоя очищается и просушивается. С помощью металлических шаблонов ромбической формы проводится разметка участков, примыкающих к пробоям. Количество шаблонов определяется числом слоев ленты. Первый, самый малый шаблон должен перекрывать поврежденное место не менее, чем на 15 мм. Разделка поврежденного места осуществляется ступеньками по шаблонам, начиная с резиновой обкладки. Резиновая обкладка надрезается ножом по контуру наибольшего шаблона и отдирается клещами. Последующие тканевые слои подрезаются ножом по контуру меньшего шаблона. Таким образом, получается ступенчатое углубление. Последний тканевый слой сохраняется. Ремонтный участок шерохуется металлической щеткой, очищается и протирается бензином. После испарения бензина дважды наносится клей. Сначала наносится обкладка с нерабочей стороны ленты путем наложения вулканизованной заплаты и прикатывания ее роликом. Затем на место вырезанных тканевых слоев с рабочей стороны ленты ставятся тканевые заплаты соответствующего размера, причем на каждую сторону заплаты дважды наносится клей с последующей сушкой после каждой промазки. Направление нитей основы заплаты

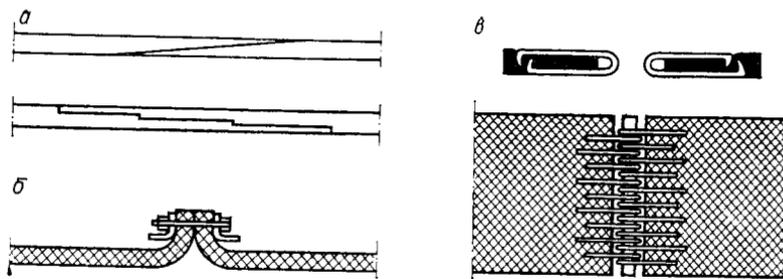


Рис. 5.16. Соединение концов ремня:  
 а — склеивание с косым и ступенчатым срезом; б — жесткое металлическое соединение;  
 в — шарнирное металлическое соединение.

должно соответствовать направлению нитей основы в ленте. После наложения и прикатки всех тканевых заплат сверху накладывается вулканизованная резиновая заплата и прикатывается роликом. На обе стороны ленты могут наноситься обкладки из каландрованной обкладочной резины с последующей ее вулканизацией. Сразу после окончания ремонта лента готова к работе.

При склеивании прорезиненных ремней их концы расслаиваются и соединяются уступами. Поверхность уступов очищается и промывается растворителем. Клеевая смесь трижды наносится на подготовленные поверхности, которые затем соединяются и прикатываются роликом. После этого они зажимаются между двумя металлическими планками на 3—4 ч и сушатся 24 ч при 20 °С. Возможна прошивка сыромятным ремешком или сочетание клееки и сшивки.

Основным элементом ременных передач являются ремни. Передачи могут быть клиноременными или плоскоременными в зависимости от формы поперечного сечения ремня. Дефектами ремней являются вытягивание и разрыв. Обычно двигатель имеет свободное перемещение для регулировки натяжения ремней. При отсутствии такой возможности вытянутые ремни подлежат замене.

Клиновые ремни при разрыве обычно заменяются. При необходимости склеивания клинового ремня соединяемые концы покрываются самовулканизирующей пастой, зажимаются в форме и подвергаются прогреву при температуре 60—70 °С в течение 15 мин. Плоские ремни обычно сшиваются сыромятными ремешками. Возможно также соединение концов ремня одним из способов, применяемых при изготовлении ремня (рис. 5.16).

Износ гуммированных покрытий проявляется в отслаивании резинового покрытия, образовании трещин, пузырей, расслоений, рваных мест, проколов. При ремонте поврежденное место вырезается, края покрытия обрезаются со скосом (с фаской), металл подвергается дробеструйной обработке и обезжириванию. Затем металл промазывается клеем несколько раз с просушкой каждого слоя, на поверхность металла накладывается резиновая за-

готовка и тщательно прикатывается. Края заготовки должны перекрывать дефектное место на 10—20 мм. После этого проводится местная вулканизация дефектного места струей острого пара, направленной на прорезиненную ткань или металлическую пластину, наложенную на дефектное место.

Вулканизация может проводиться также с использованием электронагревательных устройств — электровулканизаторов. Электровулканизатор прижимается к дефектному месту с давлением не менее 0,2 МПа, поэтому рабочая поверхность электровулканизатора изготавливается по форме восстанавливаемой поверхности — плоская, цилиндрическая, угловая (сопряжение обечайки и днища) и т. д. Прижим электровулканизатора осуществляется в зависимости от расположения дефектного места винтовым устройством, домкратом, рычажным устройством и т. д. Нагревательные элементы располагаются в корпусе электровулканизатора так же, как в бытовых приборах (электроплитка, электроутюг), и изолируются от корпуса листовым асбестом. Контроль температуры осуществляется с помощью термомпары.

При использовании быстровулканизирующегося клея и специальных резин, содержащих ускорители вулканизации, местная вулканизация восстанавливаемого участка покрытия проводится при температуре 140—160 °С в течение 1 ч. При наложении электровулканизатора поверхность заплаты посыпается тальком, а на окружающую поверхность гуммировочного покрытия накладывается асбестовая бумага с отверстием, равным размерам заплаты.

Устранение мелких дефектов гуммировочного покрытия может проводиться с помощью эпоксидных замазок. Для этого удаляется дефектный участок покрытия, поверхность металла подвергается дробеструйной обработке или зачищается до блеска и обезжиривается растворителем (бензином). Края гуммировочного покрытия срезаются на конус и зачищаются. Замазка наносится на подготовленную поверхность. Для того чтобы поверхность стала ровной, на замазку насыпается тальк и поверхность выравнивается шпателем или лопаткой. Отверждение замазки осуществляется в течение суток при температуре 20 °С. Восстановление изоляции электросварочных кабелей производится накладкой сырой резины и вулканизацией.

При гуммировании последующие слои для повышения герметичности укладываются со смещением стыков. При гуммировании валов и цилиндрических поверхностей осуществляется обкладка резиной и оббинтовка. Эти операции удобно выполнять на столе с роликами из подшипников качения. При гуммировании внутренней поверхности труб прикатка слоев осуществляется резиновым шомполом. Удаление резинового покрытия с поверхности ремонтируемого аппарата целесообразно проводить после прогрева аппарата в течение нескольких минут паром. После этого резина легко снимается. При нагревании до 230 °С и выше происходит деполимеризация клеевого слоя и отслаивание резины от металла.

Удаление гуммированного слоя осуществляется также выжигом, нагревом токами высокой частоты или газопламенным нагревом. Выжиг и нагрев токами высокой частоты применимы и для мелких деталей. Так, удаление резины с бандажей колес осуществляется выжиганием или с помощью индуктора, наводящего в бандаж индукционные токи. При нагреве бандаж резины удаляется.

Газопламенный нагрев применяется для удаления гуммировочного покрытия путем нагрева металлической стенки с помощью газовой горелки до деполимеризации клеевого слоя. Для контроля температуры нагрева металла применяются термоиндукторные краски. Отделение гуммировочного покрытия осуществляется специальными скребками. Для изготовления пластырей, с помощью которых ремонтируются поврежденные участки резиновых изделий, используются резинотканевые материалы. Заделка повреждения включает промазку поврежденного участка клеем, наложение усиливающих резинотканевых пластырей, заполнение поврежденных участков резиной, вулканизацию, если она необходима.

Технология защиты оборудования каландрованными резиновыми листами сложна и не обеспечивает создания защитного слоя с равнозначными антикоррозионными свойствами. Клеевая прослойка в местах соединения листов имеет значительно меньшую химическую стойкость, чем основной материал.

Жидкая резиновая смесь, изготовленная на основе жидкого каучука с добавкой обычных ингредиентов резиновой смеси — вулканизирующего агента, ускорителей, наполнителей, позволяет получить монолитное покрытие без швов на любых сложнопрофильных поверхностях. Саженаполненная смесь наносится кистью на предварительно обработанную пескоструйным способом и обезжиренную поверхность, после чего проводится вулканизация покрытия горячим воздухом. Толщина покрытия зависит от вязкости смеси и составляет 1—3 мм.

#### 5.4. ДРУГИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Ремонт графитовых лабиринтных уплотнений компрессоров осуществляется нанесением на изношенную поверхность эпоксидного состава, содержащего в качестве наполнителя 20—40% чешуйчатого графита. После затвердевания состава деталь протачивается на необходимый размер.

Трещины на трубах графитовых теплообменников рассверливаются на всю глубину, разделяются и замазываются смесью графитового порошка с бакелитовым лаком или эпоксидной смолой с последующей обработкой. Кожаные ремни сшиваются сыромятными ремешками или соединяются клеем.

Кожаные манжеты изготавливаются с помощью пресс-формы (рис. 5.17) в следующем порядке. Предварительно размоченная кожа при температуре 30 °С зажимается в пресс-форме, затем матрица нагревается паяльной лампой до 45—50 °С. Матрица с зажа-

той манжетой остывает около 2 ч, после чего приспособление разбирается и готовая манжета вынимается. Старая краска удаляется механическим или химическим способом. Химический способ заключается в обработке старого лакокрасочного покрытия химическими растворами или смесями.

Мелкие детали для удаления краски погружаются в ванну с 5% раствором каустической соды и выдерживаются в ней 20—60 мин при температуре раствора 80 °С. Под действием раствора краска размягчается и разрушается. Остатки краски из труднодоступных мест удаляются скребками и щетками.

Крупные детали для удаления краски покрываются смывочными растворами, наносимыми краскораспылителем или щеткой. Смывочные растворы представляют собой смесь органических растворителей с парафином, пленка которого защищает растворители от испарения. Через 3—15 мин после нанесения смывки лакокрасочное покрытие набухает и вспучивается. Размягченная лакокрасочная пленка легко удаляется шпателем или металлической щеткой. Для удаления старой краски может использоваться паста следующего состава (в %): каустическая сода — 25; негашеная известь — 15; молотый мел — 25; вода — 35.

Молотый мел после смешения с известковым тестом разводится до густоты обычной шпаклевки 20% раствором каустической соды. Паста наносится на поверхность краски слоем 1,5—2,0 мм и выдерживается 1—3 ч. Размягченная краска легко удаляется шпателем.

Ремонт фундамента подливкой отколовшихся мест не обеспечивает долговечности ремонтных накладок. Добавка полимера в цементный раствор обеспечивает пластичность ремонтной накладке и хорошую сцепляемость со старым бетоном.

Полимербетоны имеют адгезию к бетону, превышающую предел прочности бетона на разрыв. Они обладают также высокой стойкостью в агрессивных средах, в которых обычный бетон быстро разрушается. Кроме того, полимербетоны стойки против минеральных и органических кислот, масел, нефтепродуктов, органических растворителей.

Применяются полимербетоны как для ремонта, так и для изготовления фундаментных блоков, башмаков, стоек, балок, сточных лотков и каналов, сливных колодцев и различных емкостей для агрессивных жидкостей. Состав полимербетонов приведен в табл. 5.2.

Фурановая смола ФАМ и полиэфирные смолы ПН-1 и ПН-63 являются термореактивными полимерами и выполняют роль

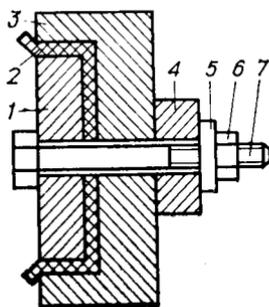


Рис. 5.17. Пресс-форма для изготовления кожаных манжет:

1 — пуансон; 2 — кожа; 3 — матрица; 4 — втулка; 5 — шайба; 6 — гайка; 7 — болт.

Таблица 5.2

Составляющие	Содержание составляющих, % (масс.)		
	тяжелый ( $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$ ) полимербетон ФАМ	легкий ( $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ ) полимербетон ФАМ	легкий ( $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ ) полимербетон ПН
Щебень аглопоритовый	—	35—39	37—39
Щебень гранитный или кварцевый . . . . .	53—55	—	—
Песок кварцевый . . . . .	23	32	32
Мука аглопоритовая	—	18—20	18—19
Мука андезитовая . . . . .	12—13	—	—
Смола ФАМ . . . . .	8—9	10—11	—
Отвердитель БСК . . . . .	1,7—2,3	2,0—2,5	—
Смола ПН-1 . . . . .	—	—	10—11
Гипериз (ГП) . . . . .	—	—	0,5
Нафтенат кобальта НК	—	—	0,9

связующего компонента. В качестве отвердителей смол используются бензолсульфокислота (БСК) — для фурановых смол, гидроперекись изопропилбензола (ГП) или перекись бензола — для полиэфирных смол. Нафтенат кобальта является ускорителем твердения.

Полимербетоны должны содержать в своем составе три фракции наполнителей и заполнителей: муку с размером частиц менее 0,15 мм, песок с размером зерен 0,15—0,50 мм и щебень с размером зерен до 50 мм. Андезитовая, кварцевая или аглопоритовая мука служат наполнителем, песок, щебень, а также бой кислотостойкой керамики — заполнителями.

Для приготовления полимербетона щебень с песком и мукой перемешивается в растворомешалке 2—3 мин, затем после добавления смолы — еще 2—3 мин и, наконец, после добавления отвердителя — снова 2—3 мин. Смесь должна быть уложена в течение 30 мин после ее приготовления.

При ремонтных работах для опалубки целесообразно использовать металлические листы. На внутреннюю поверхность листов наносится разделительный слой (жидкое стекло, раствор графита в эмульсоле, раствор битума в бензине). Твердение полимербетона в естественных условиях продолжается 28 суток. Распалубка может осуществляться через 3—4 ч.

Полимерсиликатный бетон используется при ремонте фундаментов, защитных полимерсиликатных покрытий резервуаров и для изготовления емкостей. Поврежденные места, особенно трещины в стыках элементов емкостей, разделяются, промываются и покрываются полимерсиликатной замазкой с использованием металлической опалубки. На внутреннюю поверхность опалубки наносится разделительная смазка толщиной не более 0,5 мм, в качестве которой используются технический вазелин, солидол, мыль-

ная эмульсия. Отверждение полимерсиликатного состава длится 20 суток. Состав полимерсиликатов [в % (масс.)] приведен в табл. 5.3.

Кремнефтористый натрий является отвердителем. В качестве уплотняющей добавки применяется фурфурол или фуриловый спирт. Гидрофобной добавкой служат кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 или ГКЖ-11.

Для приготовления композиции щебень, песок и смесь кремнефтористого натрия с мелкодисперсным наполнителем перемешиваются в смесителе в течение 2 мин, после чего вводится жидкое стекло, предварительно перемешанное с уплотняющей добавкой, и перемешивание продолжается еще 3 мин. «Жизнеспособность» полимерсиликатных композиций составляет 30—60 мин.

Для аппаратов с футеровкой часто наблюдается выход из строя стыков вертикальных и горизонтальных участков футеровки, в результате чего происходит обрушение вертикальных участков футеровки. При ремонте футеровка восстанавливается.

Прочность швов при кладке кирпичей увеличивается при использовании раствора следующего состава (по массе): жидкое стекло — 40%; каолин — 30; шамот — 20; тальк — 10%.

Для упрощения футеровки сферических днищ целесообразно футеровочный слой класть таким образом, чтобы внутренняя поверхность слоя была конической.

Кирпичи круглого сечения для изоляции трубопроводов вырезаются на сверлильном станке. Для этого два обычных кирпича зажимаются на столе станка и специальной оправкой в виде соосных цилиндров осуществляется резка одновременно по наружному и внутреннему диаметру. После резки получается кольцевой кирпич, состоящий из двух половинок.

Резка огнеупорных материалов (шамот, диас, андезит и др.) осуществляется на станке с абразивным кругом диаметром 500 мм и толщиной 5 мм. Установка состоит из рамы, маятниковой головки, каретки, насосной станции и винтового механизма регулировки высоты подъема абразивного круга.

Древесина в узлах трения проявляет по сравнению с металлом такие достоинства, как износостойкость, коррозионная стойкость, вибростойкость.

Таблица 5.3

Композиция	Жидкое стекло	Кремнефтористый натрий	Уплотняющая добавка	Гидрофобная добавка	Кварцевая мука	Песок кварцевый	Щебень
Замзка . . . . .	24	4,5	1,2	0,3	70	—	—
Раствор . . . . .	19	3	0,8	0,2	23	54	—
Бетон . . . . .	11	1,5	0,4	0,1	18	26	43

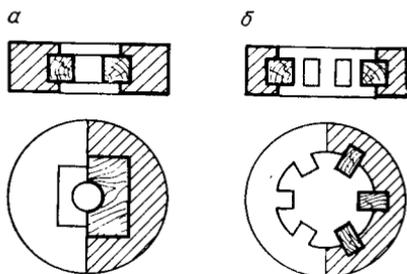


Рис. 5.18. Древесно-полимерные подшипники:

а — подшипник с одним вкладышем; — наборный подшипник.

вкладышей (рис. 5.18), образующих поверхность трения, облицованных методом литья под давлением термопластичным полимером. Процесс изготовления вкладышей состоит из нарезки березовых заготовок, сушке и последующей пропитки с одновременным уплотнением. Для пропитки используются смеси из масла МС-20 и солей поливалентных металлов жирных кислот, например стеарата цинка, магния, кальция.

Эти смеси при температуре плавления стеаратов имеют низкую вязкость, что обеспечивает глубокую пропитку древесины. В охлажденном состоянии такие модификаторы представляют собой пластичную смазку, обеспечивающую надежную работу узла трения в режиме самосмазки, и уменьшают влагопоглощение древесины. Пропитка древесины осуществляется при температуре 130—150 °С под давлением.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Изношенные пластмассовые втулки удаляются механической обработкой или выплавкой. В чем заключается дальнейшая подготовка отверстия для установки новой втулки? Каким образом обеспечивается неподвижное соединение втулки с деталью?

5.2. Керамические кольца Рашига насадочных абсорбционных колонн разрушаются, загрязняя продукт и требуя ежегодной замены насадки. Применение насадки, нарезанной из пластмассовых труб, или решеток, образованных взаимно перпендикулярными рядами пластмассовых труб, повышает чистоту продукта

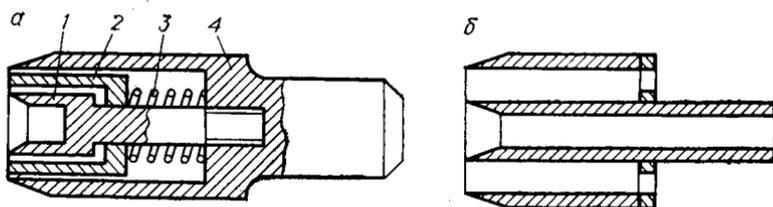


Рис. 5.19. Приспособление для вырубki мелких прокладок:

1 — просечка; 2 — выталкиватель; 3 — пружина; 4 — корпус.

ности корпуса аппарата и теплообменных трубок, зачистка отверстий в трубной решетке, зачистка концов трубок; 8) замена части корпуса, днищ (крышек) и изношенных деталей; 9) изготовление новых трубок; 10) монтаж трубного пучка и вальцовка труб в решетке; 11) ремонт плавающих головок; 12) монтаж резьбовых соединений; 13) гидравлическое испытание межтрубной и трубной частей аппарата пробным давлением; 14) пневматическое испытание аппарата.

Основными конструктивными недостатками теплообменных аппаратов являются следующие: 1) большая трудоемкость разборки-сборки аппарата при чистке и замене трубного пучка; 2) малая надежность вальцовочных соединений трубок с трубной доской; 3) сложность уплотнения крышкой трубной доски плавающей головки.

Отказы теплообменников происходят в основном из-за пропуски продукта через вальцовочные соединения и через уплотнение крышки плавающей головки и из-за коррозии труб трубного пучка.

Наиболее трудоемкими операциями при ремонте теплообменной аппаратуры являются: 1) монтаж и демонтаж резьбовых соединений, очистка теплообменной аппаратуры; 2) извлечение трубных пучков, ремонт и изготовление трубных пучков и их установка; 3) испытание теплообменников.

Снижение трудоемкости работ по монтажу и демонтажу резьбовых соединений достигается применением пневматических и гидравлических гайковертов. После разбалчивания снимается крышка аппарата. Уменьшение трудозатрат на опускание и подъем тяжелой крышки обеспечивается изготовлением поворотных кронштейнов, которые позволяют после разбалчивания отвести в сторону крышку и распределительную головку.

Извлекать трубные пучки можно только из теплообменников с плавающей головкой. Наименее механизированным способом является извлечение трубного пучка с помощью лебедок и домкратов. Более прогрессивны специальные устройства для извлечения — экстракторы. Они представляют собой приспособления, которые крепятся на фланце теплообменника и с помощью домкрата или лебедки выталкивают трубный пучок. Извлекаемый пучок движется вместе с тележкой, на которой крепится его передняя часть.

В большинстве случаев в качестве экстракторов используются приспособления для захвата трубного пучка в сочетании с грузоподъемным механизмом. Извлекаемый из горизонтальных теплообменников трубный пучок поддерживается в горизонтальном положении автомобильным краном с помощью тали и передвижного монорельса или тележки.

Схема извлечения трубного пучка с помощью тракторной лебедки и автомобильного крана представлена на рис. 6.1.

Демонтаж проводится в определенной последовательности: 1) снимаются крышки теплообменного аппарата; 2) демонтируются

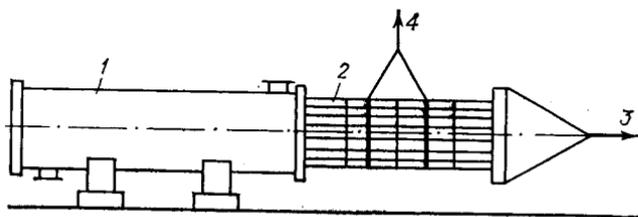


Рис. 6.1. Извлечение трубного пучка при помощи лебедки и автомобильного крана: 1 — корпус теплообменника; 2 — трубный пучок; 3 — строп к лебедке; 4 — строп к автомобильному крану.

детали плавающей головки; 3) проводится предварительный сдвиг трубочки; 4) тракторной лебедкой трубный пучок извлекается из аппарата; 5) при помощи хомутов и стропов трубочка подвешивается к крюку автомобильного крана, который после окончательного извлечения трубочки опускает ее на прицеп для транспортирования на место очистки и ремонта.

На рис. 6.2 представлен способ извлечения трубного пучка с помощью стационарного монорельса с лебедкой. На монорельсе размещаются два тельфера, что дает возможность без затруднений проводить демонтаж и монтаж трубочки. Извлечение трубочки осуществляется отводным блоком 5 и полиспастом 6. Для этого может также применяться передвижной монорельс (рис. 6.3).

Извлечение трубочки с помощью передвижной тележки представлено на рис. 6.4. Тележка 6 жестко крепится к фланцу трубного пучка с помощью соединительной планки 4 и болтов 3. Для этой цели на плите 8 установлен опорный сухарь 7. Для регулировки высоты трубного пучка опорная плита 8 соединяется с платформой тележки с помощью четырех винтовых домкратов 9. Извлечение трубочки осуществляется лебедкой 1, при этом усилие лебедки прилагается к тележке.

Для теплообменников, расположенных на высоте, наиболее удобным грузоподъемным механизмом остается автомобильный

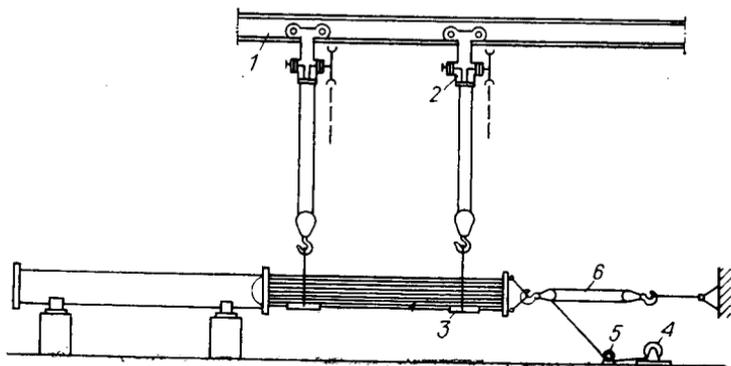


Рис. 6.2. Приспособление для смены пучков теплообменников:

1 — направляющая балка; 2 — тельфер; 3 — подкладка под пучок; 4 — лебедка; 5 — отводной блок; 6 — полиспаст.

кран. Извлечение трубного пучка из вертикальных теплообменников проще, чем из горизонтальных, и проводится принципиально теми же способами.

Для установки трубного пучка в корпус кроме уже описанных приспособлений применяется также специальное монтажное приспособление, заменяющее лебедку (рис. 6.5). Оно состоит из корпуса 3 с фланцем и привода. В привод входят электродвигатель 1 и планетарный редуктор 6. Соосно с редуктором установлен барабан 5 для намотки стального троса. В корпусе 3 для направления троса установлены два ролика 4. Приспособление крепится к корпусу теплообменника вместо крышки (рис. 6.6). Монтаж трубного пучка осуществляется при поддержке тельферами или тележкой.

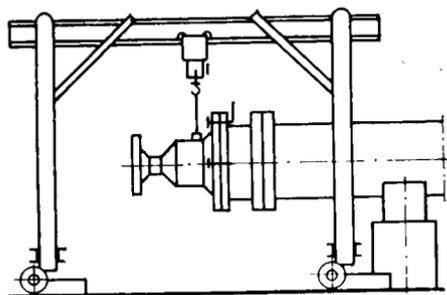


Рис. 6.3. Передвижной монорельс.

Очистка трубок от отложений включает в себя обработку как внутренних, так и наружных поверхностей. Используются следующие методы очистки: 1) химические; 2) абразивные (для нерастворимых отложений); 3) специальные.

Химическая очистка осуществляется без вскрытия и разборки теплообменника. Для очистки от накипи применяют 5—15% раствор соляной кислоты с добавками ингибиторов. Для очистки от органических отложений используются углеводородные растворители. Очистка от твердых отложений оказывается эффективной при заполнении теплообменника на сутки 5% раствором соляной кислоты с добавкой жидкого стекла. Твердый осадок разрыхляется в этом растворе и затем легко смывается водой.

Абразивные методы очистки подразделяются на механический, гидроневматический, гидромеханический (струей воды высокого давления) и пескоструйный.

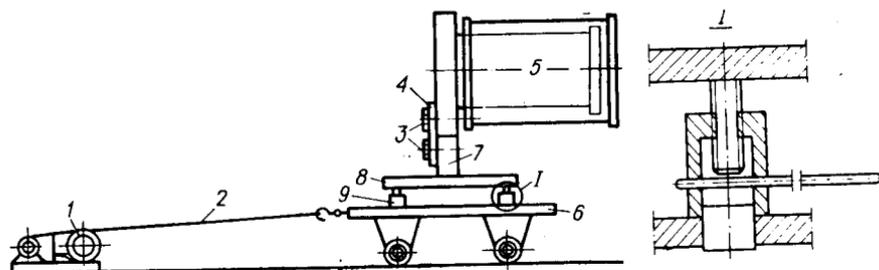


Рис. 6.4. Приспособление для извлечения трубчатki из горизонтального теплообменника:

1 — лебедка; 2 — трос; 3 — болты; 4 — соединительная планка; 5 — теплообменник; 6 — тележка; 7 — опорный сухарь; 8 — плита; 9 — домкрат для подъема опорной плиты.

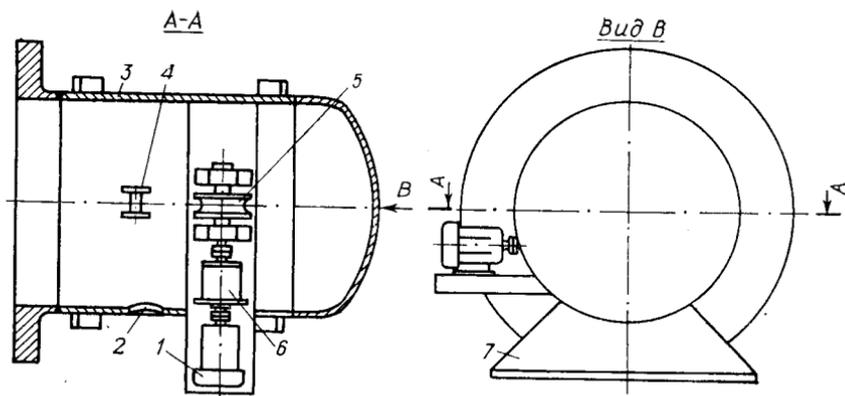


Рис. 6.5. Переносное устройство:

1 — электродвигатель; 2 — окно; 3 — корпус; 4 — ролики; 5 — барабан; 6 — редуктор; 7 — опоры.

Механическая очистка проводится при помощи шомполов, сверл, щеток, шарошек, резцов, буров с подачей воды или воздуха для удаления продуктов очистки. Простейшим приспособлением является стальной пруток с ершом из стальной проволоки, приваренным к прутку.

Приспособление для механической чистки трубок показано на рис. 6.7. Оно состоит из пневмодреши 1, используемой в качестве привода, конуса Морзе 2 и трубки 3 с закрепленным на ней держателем резцов 5. Держатель имеет два отверстия, в которые вставляются шпильки, служащие для свободного закрепления двух симметрично расположенных резцов 6 с напаянными победитовыми наконечниками 7. На трубку 3 насажена трубка 4 большего диаметра, которая предназначена для удерживания приспособления во время работы. Резцы к стенкам очищаемых трубок прижимаются с помощью пружины 8, а также центробежной силой и при вращении очищают осадок со стенок. После первичной обработки трубок резцом их подвергают окончательной чистке стальным ершом.

Часто при механическом способе чистка осуществляется с помощью приводных или ручных инструментов. Крышки тепло-

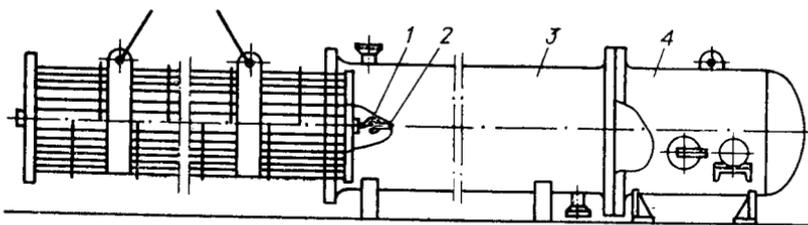


Рис. 6.6. Установка трубного пучка в корпус:

1 — крюк; 2 — трос; 3 — теплообменник; 4 — переносное устройство.

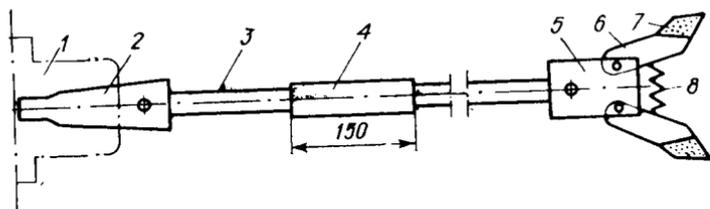


Рис. 6.7. Приспособление для чистки труб:  
 1 — пневмодрель; 2 — конус Морзе; 3 — трубка; 4 — трубка-держатель; 5 — держатель резов; 6 — резец; 7 — победитовый наконечник; 8 — пружина.

обменника при этом снимаются. Приспособление для удаления твердых и хрупких отложений накипи, кокса, солей с внутренних поверхностей горизонтальных и вертикальных трубок теплообменных аппаратов, представлено на рис. 6.8. К тали («кошке») 6 подвешивается сверлильная машина, состоящая из бура 1, полого вала 2, распределительного золотника 3, электро- или пневмопривода 4 и упора 5. Таль располагается на кран-балке, помещаемой на двух треногах 7. При вращении и поступательном движении бура 1 происходит разрыхление отложений на внутренней поверхности трубки. Вода, подаваемая через золотниковое устройство 3, вымывает грязь. Предусмотрена также подача воздуха и водяного пара.

Для чистки труб теплообменников «труба в трубе» может применяться пневмомеханический способ чистки. Чистка осуществляется зубчатой металлической втулкой-шомполом 1 (рис. 6.9). Втулка движется от одного конца трубы к другому под напором воздуха давлением 0,5—0,6 МПа. Направление потока воздуха меняется с помощью распределителя воздуха —

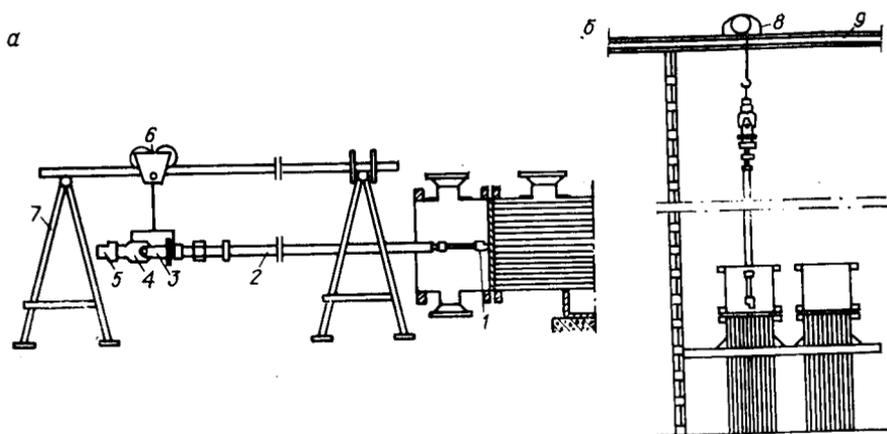


Рис. 6.8. Приспособление для механической чистки теплообменников:

а — горизонтального; б — вертикального;  
 1 — бур; 2 — полый вал; 3 — распределительный золотник; 4 — привод; 5 — упор;  
 6 — таль; 7 — тренога; 8 — лебедка; 9 — подкрановые пути.

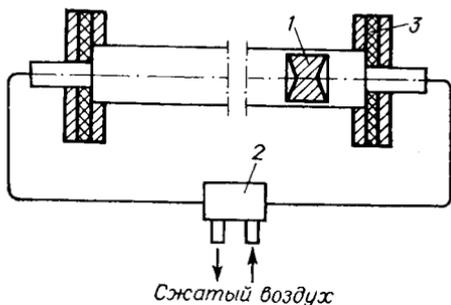


Рис. 6.9. Приспособление для пневмомеханической чистки труб:  
1 — втулка-шомпол; 2 — распределитель воздуха; 3 — прокладка.

золотника 2. Резиновые прокладки 3 уплотняют места соединений и амортизируют удары шомпола.

Для чистки U-образных трубок применяется гибкий шланг. Очистка трубок с помощью воды и воздуха называется гидропневматической. В загрязненную трубку одновременно подаются вода и сжатый воздух. Сжатый воздух, расширяясь, резко увеличивает скорость движения воды, которая начи-

нает перемещаться по трубке последовательными водяными «пробками» с интенсивными завихрениями. Совместное движение воды и воздуха быстро разрушает отложения на стенках трубок, очищая их.

Одновременная подача в трубку воды и воздуха осуществляется при помощи водовоздушного пистолета. Воздух под давлением 0,7—0,8 МПа и вода под давлением 0,5—0,6 МПа при соотношении 1 : 1 подаются с помощью шлангов.

Гидропневматическая очистка трубок позволяет уменьшить время очистки по сравнению с механической в 8—10 раз, значительно реже подвергать очистке теплообменники, повысить производительность труда.

Гидромеханическая очистка состоит в следующем. Насосом высокого давления по напорным шлангам вода подается в полую штангу, на конце которой установлено сопло с несколькими отверстиями. Струя воды выходит из сопла под большим давлением, режет и отрывает отложения от стенок очищаемых поверхностей. Достоинство такого метода — возможность очистки внутренней и наружной поверхностей трубок, а также корпуса непосредственно на месте установки аппарата. При этом достигаемая степень очистки значительно выше, чем при других методах.

Время очистки одной трубы равно 10—15 с. Установки обычно изготавливаются передвижными. Широкий диапазон изменения давления (от 15 до 70 МПа) дает возможность удалять отложения практически любой твердости.

Очистка оребренных труб проводится струями высокого давления. Для этого в трубную решетку через специально предусмотренные отверстия с помощью направляющей гильзы вводится трубка с отверстиями на боковой поверхности. Вода, подаваемая в трубку под высоким давлением, выходит из отверстий параллельно оребрению. Вращение трубки и ее движение в осевом направлении позволяют подвергнуть воздействию струй всю поверхность оребрения.

Пескоструйная очистка дает возможность достигнуть наиболее полной очистки труб, в результате чего коэффициент теплопередачи восстанавливается до значений, соответствующих отсутствию термических сопротивлений, обусловленных загрязнениями. Сущность пескоструйной очистки заключается в обработке очищаемой поверхности взвесью песка в воздухе или воде, подаваемой с большой скоростью. Засасывание песка осуществляется эжекционными установками.

К специальным методам очистки относится ультразвуковой. Ультразвуковые преобразователи через посредство головок с вибраторами, устанавливаемыми в жидкости (воде) внутри очищаемого объема, позволяют полностью удалить твердые отложения, разрушаемые под действием ультразвуковых колебаний и вымываемые звукопередающей средой.

При ремонте трубного пучка допускается установка пробок на 15% трубок в каждом потоке пучка. При выходе из строя более 15% трубок все они заменяются полностью. Выбор материала трубок проводится с учетом характеристики среды, ее параметров и в соответствии с действующими нормами. Применение бывших в употреблении трубок допускается, если они потеряли вследствие износа не более 30% первоначального веса.

Правка вмятин в трубах осуществляется с помощью приспособления, показанного на рис. 6.10. Штанга 2 продевается через трубу до упора оправки 1 во вмятину. После этого на штангу надеваются шайба 3 и гайка 4. При завинчивании гайки оправка выпрямляет вмятый участок.

Завальцованные трубки, не выступающие над решеткой, при замене отрезают ножовкой или специальным приспособлением за трубной решеткой. Трубки, выступающие над трубной решеткой, отрезают головкой с резцом. Оставшиеся в гнездах решеток концы трубок сплющивают и выбивают.

Удаление дефектных приваренных труб осуществляется вырубкой сварного кольцевого шва вручную или срезанием торца трубы и валикового шва специальной фрезой с приводом от гибкого вала или переносной дрели.

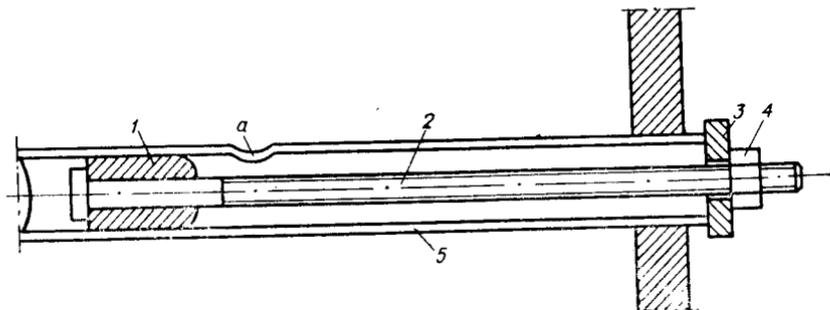


Рис. 6.10. Приспособление для правки вмятин в трубах:  
1 — оправка; 2 — штанга с резьбой; 3 — шайба; 4 — гайка; 5 — труба; а — вмятина.

Вставляемые новые трубки отрезают по длине трубного пучка с прибавкой 8—10 мм длины. Концы трубок зачищают до металлического блеска на длину, равную толщине решетки с прибавкой 10 мм на сторону. В трубной решетке все отверстия зачищают от заусенцев, ржавчины и грязи. Наличие продольных рисок в отверстиях трубной решетки **не допускается**. Перед установкой трубок отверстия в решетке продувают воздухом и насухо протирают. Зазор между наружным диаметром трубки и отверстием в решетке не должен превышать 1,5% диаметра трубки.

В трубных решетках концы трубок крепятся развальцовкой. При этом отверстия под развальцовку обрабатываются не ниже седьмого класса шероховатости. Концы трубок должны выступать на 3—5 мм у наружного торца каждой решетки и быть отбортованными. Ввиду того, что трубки при развальцовке удлиняются, сначала развальцовывают все концы трубок в одной решетке, а потом в другой. При этом вальцуют четыре трубки крест-накрест, затем все трубки по периметру и далее остальные.

При развальцовке необходимо избегать следующих дефектов: 1) отсутствия характерного перехода между развальцованной и неразвальцованной частями труб; 2) чрезмерной длины колокольчика или раздутого выхода трубы за трубной решеткой; 3) одностороннего выпучивания трубки на выходе из гнезда; 4) подреза трубы по кромкам гнезда трубной решетки; 5) трещин и разрывов в вальцованной части трубы или в колокольчике.

В теплообменных аппаратах жесткой конструкции применяется также сварное крепление трубок в трубной решетке. При этом трубки и решетки должны изготавливаться из хорошо свариваемых металлов.

Корпус аппарата, имеющий различные выпучины и вмятины, выправляется ударами кувалды по медной подкладке. Устранение небольших вмятин при толщине стенки корпуса или крышке, выполненных из углеродистой стали, не более 3—4 мм осуществляется нагревом. Если невозможно устранить указанные выше дефекты ударами и нагревом, то поврежденные части или удаляются, или на них ставятся накладки.

Дефектные штуцера и трубные решетки при достижении максимальных величин износа и прогиба заменяются.

Свищи и трещины устраняются путем заварки или постановкой накладки с предварительным удалением дефектного участка.

При помощи цветной дефектоскопии определяют протяженность и положение концов трещин, обнаруженных в корпусе. Эти концы до заварки засверливают сверлами диаметром 3—4 мм. Несквозные трещины глубиной не более 0,4 толщины стенки разделяются под заварку односторонней вырубкой на максимальную глубину трещины со снятием кромок под углом 50—60°. При трещине более 100 мм сварку проводят обратноступенчатым методом. Сквозные и несквозные трещины глубиной более 0,4 толщины стенки разделяют на всю толщину вырубкой зубилом

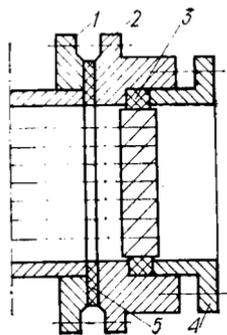


Рис. 6.11. Сальниковое приспособление для опрессовки:  
1 — корпус; 2 — фланец; 3 — сальниковая набивка; 4 — нажимная втулка; 5 — прокладка.

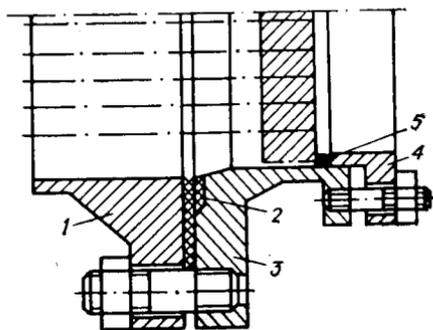


Рис. 6.12. Приспособление для опрессовки:  
1 — корпус; 2 — резиновая прокладка; 3 — фланец; 4 — прижимная втулка; 5 — резиновый шнур.

или газорезкой. При появлении гнездообразных трещин поврежденные места вырезаются и закрываются заплаты без острых углов. Заплаты свариваются заподлицо с основным металлом. Площадь заплата не должна превышать  $\frac{1}{3}$  площади листа аппарата.

При частичной замене корпуса аппарата необходимо выполнять следующие требования: 1) материал для изготовления новых частей корпуса по механическим и химическим свойствам должен быть одинаковым с материалом ремонтируемого корпуса; 2) толщина листа заменяемой части должна быть не меньше проектной; 3) электроды должны соответствовать свариваемому материалу; 4) замыкающие обечайки должны быть шириной не менее 400 мм; 5) продольные швы в горизонтальных аппаратах не должны быть в нижней части аппарата; 6) кромки поверхности обечайки и основного металла на ширине 10 мм необходимо зачистить перед сваркой до чистого металла; 7) продольные швы в отдельных обечайках цилиндрической части аппарата, а также меридиональные или хордовые швы днищ, примыкающие к обечайкам, должны быть смещены относительно друг друга не менее чем на 100 мм; 8) расстояние между продольными швами в отдельных обечайках должно быть не менее 200 мм; 9) при сварке стыков необходимо предусмотреть плавный переход от одного элемента к другому.

Опрессовка теплообменников жесткой конструкции проводится при снятых крышках. Вода при гидравлическом испытании подается в межтрубное пространство. Появление воды в любой из трубок или в месте вальцовки трубки в трубной решетке указывает на дефекты в ремонте. В теплообменниках с плавающей головкой одна из трубных решеток не прикреплена к корпусу. При гидравлическом испытании со стороны плавающей головки

снимается крышка теплообменника и на ее место устанавливается сальниковое приспособление (рис. 6.11), предназначенное для обеспечения герметичности между корпусом и плавающей головкой.

На рис. 6.12 приведена другая конструкция такого приспособления, применяемая для широкого диапазона длин трубного пучка. Резиновый шнур, выполняющий роль сальниковой набивки, прижимается не к цилиндрической поверхности трубной решетки, а к ее торцовой поверхности. Фланец 3 крепится к корпусу теплообменника четырьмя болтами и обжимает резиновую прокладку 2. Для увеличения жесткости на фланце имеются ребра.

Для универсальности приспособления на его фланце проделываются по четыре отверстия для различных размеров болтов, равномерно расположенные по окружности.

## 6.2. РЕМОНТ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

Основным видом износа колонной массообменной аппаратуры является забивка колонны отложениями и коррозия ее элементов. Содержание операций и их число при разборке колонны зависит от ее диаметра. Колонны диаметром  $>0,8$  м делаются царговыми на фланцах, колонны диаметром  $\leq 0,8$  м — сварными. Царговые колонны разбираются полностью. Грузоподъемный механизм должен быть установлен выше колонны, что позволяет снять все царги поочередно. При невозможности установки грузоподъемного механизма выше колонны демонтаж начинается с нижней царги при подъеме остальных царг.

Цельносварные колонны при ремонте чаще всего не демонтируются. Демонтируются только внутренние устройства колонн. После подготовительных операций (пропарка, промывка) открываются люки колонны. Для облегчения труда рабочих, занятых на этой работе, крышки люков рекомендуется устанавливать на петлях.

Люки нужно открывать в строгой последовательности, начиная с верхнего, когда колонна находится под паром, для предотвращения тока воздуха через колонну при одновременном открытии нижнего и верхнего люков.

После пропаривания колонна промывается водой и проветривается. Проветривание необходимо для охлаждения колонны и доведения концентрации продуктов в ней до допустимых санитарных норм. После окончания проветривания нужно провести анализ проб воздуха, взятых из колонны на разных высотных отметках. К работам внутри колонны разрешается приступать только тогда, когда анализ покажет, что концентрация вредных газов и паров в ней не превышает предельно допустимых санитарных норм.

Тарелки разбираются внутри колонны, выносятся через люки на обслуживающие площадки и транспортируются для чистки и ремонта. Часто оказывается возможным проводить чистку тарелок внутри аппарата.

Спуск секций тарелок производится установленной в верхней части колонны поворотной кран-укосиной нужной грузоподъемности. Укосина должна иметь достаточные вылет и высоту стрелы для демонтажа шлемовой трубы и поднимать или опускать детали внутренних устройств, не задевая обслуживающих площадок. Кран-укосина через систему направляющих роликов и блоков соединяется с лебедкой, установленной на земле на необходимом расстоянии от работающих аппаратов и ремонтируемой колонны. Лебедка должна иметь барабан с необходимой канатоемкостью и обеспечивать через кран-укосину подъем груза непосредственно с нулевой отметки.

Колонны большого диаметра обычно снабжаются балкой с талью и имеют обслуживающие площадки. При демонтаже используются поворотные кран-укосины.

Монтаж и демонтаж секций тарелок, расположенных внутри колонны, осуществляется при помощи блоков и полиспастов соответствующей грузоподъемности. Для этого верхняя обойма полиспаста или блока крепится к штуцеру, расположенному на уровне люка, или к раме тарелки.

— При ремонте и обслуживании насадочных колонн основное внимание должно уделяться очистке внутренних устройств аппарата, его корпуса и замене насадочных колец.

При помощи лебедки, бадьи и кран-укосины на верх колонны (или к любому люку) подаются новые насадочные кольца и опускаются вниз старые или закоксовавшиеся. Для загрузки и выгрузки насадки обычно используются бадьи с открывающимся днищем и сменные переносные лотки, благодаря чему трудоемкие работы значительно сокращаются.

Для выгрузки насадочных колец могут использоваться стационарные лотки, которые устанавливаются или снаружи, или внутри обслуживающих площадок. Скорости падающих колец гасятся в конце лотка. Для этого предусматривается бункер с затвором-шибером, которым регулируется поступление колец в воронку передвижного контейнера, поставляющего их в самосвал или специальный контейнер.

Для механизации ремонта царговых колонн, выполненных из ряда разъемных фланцевых соединений (как тарельчатых, так и насадочных), используются ручные рычажные лебедки, червячные тали и монорельсы. Монорельс устанавливается по оси ремонтируемых аппаратов на необходимой высоте, которая определяется возможностью демонтажа всех узлов колонны, транспортировкой деталей до монтажного проема, спуском на нулевую отметку или погрузкой на автомашину.

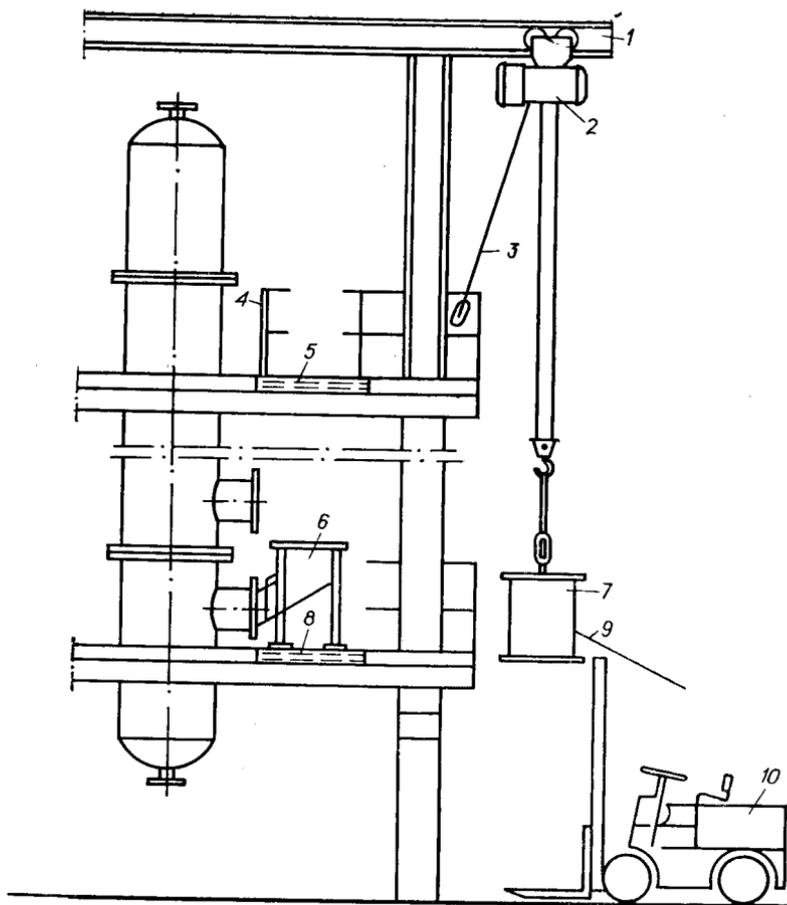


Рис. 6.13. Загрузка насадочных колец в колонный аппарат:

1 — монорельс; 2 — электроталь; 3 — управление электроталью; 4 — временное ограждение; 5 — проем (открыт); 6 — лоток; 7 — бункер; 8 — проем (закрыт); 9 — оттяжка; 10 — электропогрузчик.

На рис. 6.13 приведена схема механизации загрузки насадочных колец в аппараты колонного типа с применением передвижной электрической тали, бункера (бадьи) и лотка. Насадочные кольца подаются к аппарату аккумуляторным погрузчиком или другими видами транспорта в специальном бункере (бадье). Последний поднимается при помощи передвижной электрической тали на верхнюю отметку, перемещается по монорельсу до оси открытого проема и опускается на лоток, соединенный с открытым загрузочным люком колонны.

При ослаблении натяжения стрелы нижний клапан бадьи открывается и насадка высыпается в аппарат. Нижние секции колонны загружаются аналогичным образом, только предвари-

тельно открываются проемы, монтируется лоток на ближайшей площадке и устанавливаются временные ограждения. Верхняя часть колонны загружается насадкой после снятия верхней крышки аппарата.

Осуществить ремонт и внутренний осмотр высоких пустотелых колонных аппаратов будет очень сложно, поскольку это требует сооружения специальных лесов внутри аппарата. Для безопасного и эффективного технического осмотра и ремонта аппаратов применяется специальная подвесная платформа, элементы которой вводятся в аппарат через люк и собираются внутри аппарата. Платформа, поднимаемая тросом, позволяет выполнять осмотр и чистку внутренней поверхности аппарата, осмотр сварных швов, ремонт внутренней поверхности аппарата.

Демонтаж корпуса цельносварных колонн проводится при необходимости замены части корпуса. Наиболее часто вследствие коррозии выходит из строя днище. Замена части корпуса, в том числе и днища, может осуществляться без демонтажа колонны. Для этого к верхней части колонны крепится опорная площадка, под которую подводятся домкраты. Нижняя часть колонны отрезается и после подъема верхней части на высоту 100 мм удаляется. После подведения новой нижней части верхняя часть опускается и сваривается с нижней.

Замена днища — ответственная операция, требующая выполнения необходимых расчетов, разработки технической документации, соблюдения дополнительных мер безопасности.

Ремонт тарелок царговых колонн проводится после их демонтажа. Обычно тарелки в царгах уплотняются с помощью асбеста или шнурового фторопластового уплотняющего материала (ФУМ). При демонтаже тарелок асбест и ФУМ извлекаются с помощью крючков и зубила. Ремонт тарелок связан в основном с их чисткой и заменой изношенных элементов. После установки тарелок в корпус аппарата проверяется равномерность газораспределения. Проверка осуществляется визуально. В нижнюю часть аппарата воздуходувкой подается воздух, и колонна или ее секция заливается модельной жидкостью. При этом все люки, расположенные ниже испытываемой тарелки, должны быть закрыты. Равномерность барботажа по всей плоскости тарелки свидетельствует о горизонтальном ее положении и правильной сборке.

При необходимости производится замена части колпачков. Детали колпачков изготавливаются заново и собираются. Наиболее ответственной операцией является приварка шпильки к корпусу колпачка. При несоосности этих деталей правильная установка колпачка оказывается невозможной. При сборке соосность деталей обеспечивается специальной оправкой (рис. 6.14), которая позволяет также изменять высоту шпильки путем ее частичного разгибания при затягивании гайки.

При проверке на барботажа тарелок с тоннельными колпачками может оказаться, что интенсивность бурления по краям

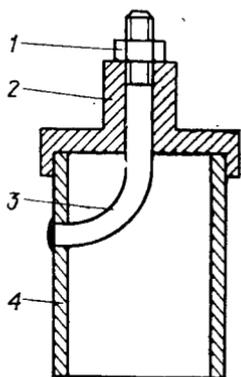


Рис. 6.14. Приварка шпильки к корпусу колпачка:

1 — гайка; 2 — оправка;  
3 — шпилька; 4 — корпус колпачка.

и в середине того или иного колпачка неодинакова и не поддается регулировке. Причиной этого является продольная дугообразность колпачка, который следует снять и выправить или заменить другим. По окончании регулировки колпачков проводится их закрепление.

Ситчатые тарелки необходимо установить строго горизонтально. Некоторая негоризонтальность колпачковой тарелки допустима, так как в конечном счете основное влияние на ее работу оказывает установка колпачков. Даже при относительно небольшом наклоне ситчатой тарелки ее работа может быть неправильной. Большая часть газа пойдет через приподнятый участок тарелки. По этой же причине на ситчатой тарелке недопустимы местные деформации — выпуклости или вогнутости.

Горизонтальность ситчатых тарелок проверяется на месте установки уровнем. В колоннах с ситчатыми тарелками непровального типа кроме горизонтальности тарелок проверяется правильность установки переливного порога.

Ремонт колонны заканчивается ее испытанием. При гидравлическом испытании колонна заполняется водой при открытой воздушке, устанавливаемой на верху колонны. Появление воды в воздушке свидетельствует о заполнении колонны. После закрытия воздушки давление в колонне медленно повышается до контрольной величины. При этом давление аппарата выдерживается 5 мин, затем давление снижается до рабочего значения, при котором осуществляется обстукивание сварных швов молотком и осмотр корпуса колонны. При проведении пневматического испытания обстукивание сварных швов не допускается.

### 6.3. РЕМОНТ ЕМКОСТНЫХ АППАРАТОВ

Емкостные аппараты предназначены в основном для хранения жидких продуктов. Для этого типа аппаратуры характерны повреждения целостности и формы. Подготовленный к ремонту аппарат осматривается. Участки поверхности аппарата и сварные швы, на которых обнаружены несквозные трещины, проверяются керсином. Этим же способом уточняются размеры и контуры сквозных трещин. Для предотвращения дальнейшего развития трещин в концах их высверливают отверстия диаметром 10—15 мм.

Трещины глубиной менее половины толщины стенки разделяются вырубкой зубилом до чистого металла и завариваются. Сквозные узкие трещины и трещины глубиной более половины

толщины стенки разделяются на всю толщину металла вырубкой зубилом или газовым резаком. Участки со сквозными проржавлениями и широкими трещинами ремонтируются путем вырезки металла и приварки заплат. При толщине металла менее 6 мм заплата приваривается внахлестку; величина нахлестки должна быть равна 30—40 мм, а зазор между листами не превышать 1,5 мм. При толщине металла 6 мм и больше заплата рекомендуется приваривать встык, с двух сторон, с зазором 2—4 мм и скосом кромок под углом 30—35°. Размер заплата должен быть не менее 200 × 150 мм и не более  $\frac{1}{3}$  площади ремонтируемого листа аппарата. Края вырезаемого куска стенки аппарата должны отстоять от концов трещин не менее чем на 50 мм. Предварительно заплате придается кривизна, несколько большая кривизны стенки аппарата в ремонтируемом месте. Приваривается заплата обратноступенчатым швом в два слоя.

Небольшие вмятины и выпучины вырезаются и на их место привариваются заплата.

К емкостным аппаратам относятся резервуары для хранения нефти. Для них тоже характерны трещины и выпучины. Днище и нижний пояс резервуара разрушаются в результате деления эмульсии и накопления воды. Отстоявшаяся вода содержит соли, что способствует усилению язвенной коррозии. Коррозия особенно интенсивна на границах вода — углеводороды, углеводороды — воздух. Коррозия днища может быть настолько значительной, что его приходится заменять новым.

При текущем ремонте резервуар от нефтепродукта не освобождается, а восстановление герметичности верхних поясов стенки кровли производится с помощью клеев, замазок, шпаклевки и покраски. При капитальном ремонте осуществляется замена поврежденных коррозией листов или поясов стенки, покрытия или днища резервуара.

Перед ремонтом проводится подготовка проектной документации, подготовка резервуара и изготовление заменяемых элементов конструкции, оснастки, приспособлений. Проектная документация состоит из дефектной ведомости, проекта производства работ, графика работ.

Подготовка резервуара к ремонту состоит в отключении резервуара от общей заводской схемы, очистке резервуара от нефтепродукта, зачистке, пропарке, вентиляции и удалении оставшейся грязи — песок, окалина. Работы в резервуаре до его дегазации осуществляются в шланговых противогазах. Срок пребывания рабочих в резервуаре не должен превышать 15 мин с отдыхом на свежем воздухе не менее 15 мин.

Крыша (кровля) резервуара подвергается с внутренней стороны интенсивной коррозии. При появлении на кровле отдельных отверстий (свищи), когда кровля обладает еще достаточной прочностью и безопасностью в эксплуатации, проводится локальный ремонт кровли. При появлении сплошной коррозии меняется все

покрытие. При этом меняется или металлический настил крыши, или настил вместе с поддерживающим каркасом. При замене настила с каркасом крыша разрезается на отдельные элементы (щиты), которые последовательно демонтируются с заменой новыми. При замене только настила элементы настила срезаются с каркаса и после установки новых элементов осуществляется их сварка.

Ремонт верхних поясов стенки может выполняться полистовой заменой при локальных дефектах или заменой всего пояса рулонной заготовкой при сплошном дефекте пояса.

При полистовой замене в кровле резервуара вырезается монтажный проем шириной 1 м и длиной, равной или несколько большей длины заменяемого участка пояса. В проем опускаются навесные леса, а с наружной стороны резервуара навешивается монтажная площадка. С навесных лесов и монтажной площадки проводится демонтаж заменяемого листа, для чего с внутренней стороны резаком прорезаются сварные швы. Перед вырезкой листа к нему привариваются скобы, за которые осуществляется строповка листа к крюку крана.

Перед монтажом нового листа к стенке резервуара привариваются два уголка, на которые опирается монтируемый лист. После подгонки листа с помощью клиньев и прокладок, служащих для создания зазора в 1—2 мм между новым листом и стенкой резервуара, производится сварка листа со стенкой. По окончании сварки демонтируются монтажные приспособления, закрывается монтажный проем в кровле и проводится испытание резервуара.

Применение рулонных заготовок позволяет по сравнению с полистовой заменой в несколько раз сократить трудоемкость ремонта, но требует создания в ремонтном тресте специализированного участка по изготовлению рулонных заготовок.

В кровле резервуара вырезается монтажное окно, через которое внутрь резервуара вводятся все приспособления и рулонная заготовка. Старые листы верхнего пояса вырезаются через 6 м по окружности и краном опускаются на землю. Вертикальная начальная кромка рулона приваривается прихватками к стенке резервуара и рулон разворачивается лебедкой через отводной блок с одновременной передвижкой подставки краном (рис. 6.15).

Тяговый трос закрепляется за накладную серьгу, привариваемую к рулону, пропускается через отводной блок, привариваемый на стенке резервуара, и через монтажное окно в стенке проходит к лебедке или трактору. Отводной блок устанавливается на расстоянии не более 8 м от рулона и по мере разворачивания последнего переносится на новое место и приваривается. Монтажное окно в стенке усиливается приварными ребрами жесткости, которые фиксируют вертикальное положение кромок стенки в месте вырезки окна. Кран по мере разворачивания рулона объезжает резервуар. Для проведения работ на высоте в резервуар вводятся подвесные струнные леса.

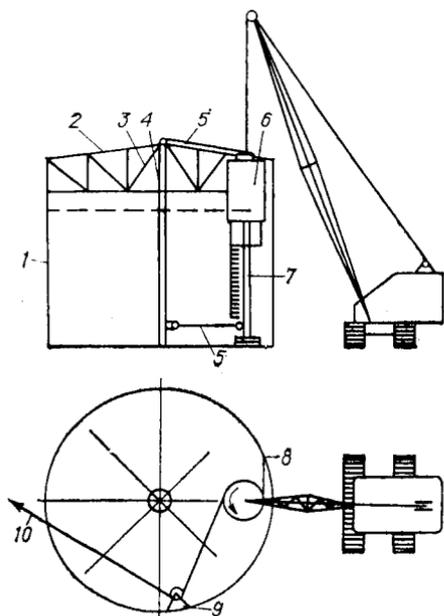


Рис. 6.15. Замена верхнего пояса рулонной заготовкой:

1 — стенка; 2 — покрытие; 3 — каркас; 4 — центральная стойка резервуара; 5 — распорки; 6 — рулон; 7 — подставка; 8 — начальная кромка рулона; 9 — отводной блок; 10 — трос на лебедку.

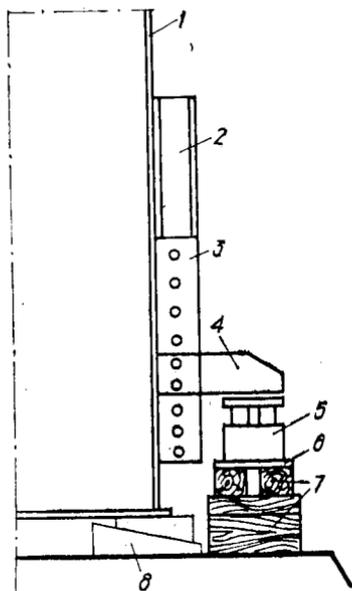


Рис. 6.16. Подъем резервуара:

1 — стенка; 2 — ребро жесткости; 3 — пластина; 4 — передвижная опора; 5 — домкрат; 6 — металлическая пластина; 7 — брусья; 8 — клинья.

По мере разворачивания рулона с помощью клиньев полотнище рулона поджимается к стенке. После подготовки участка длиной 6 м осуществляется сварка полотнища со стенкой. После этого на следующем участке длиной 6 м демонтируется покрытие с каркасом и участок верхнего пояса стенки. Вырезка пояса участками длиной не более 6 м обеспечивает устойчивость стенки резервуара без дополнительных креплений. После окончания сварки рулонной заготовки проводится испытание сварных швов отремонтированного пояса стенки на плотность керосином, а затем гидравлическое испытание всего резервуара.

Аналогичным образом проводится замена нижних поясов стенки. При вырезке участка пояса стенки для уменьшения деформации остающихся кромок стенки вначале выполняется нижний горизонтальный рез, затем вертикальные и в последнюю очередь верхний горизонтальный рез. Вырезанный участок удаляется крапом за предварительно приваренные скобы.

Грунтовое основание под днищем резервуара может дать неравномерную осадку, поэтому возникает необходимость ремонта основания.

Ремонт основания проводится после подъема резервуара и вырезки днища. Для подъема на стенке резервуара привариваются из двутавровой балки ребра жесткости равномерно по всей окружности с расстоянием между ними 2—2,5 м. Ребра жесткости усиливаются накладками с отверстиями. С помощью двух вставляемых в отверстия пальцев фиксируется положение передвижных упоров, под которые подводятся домкраты (рис. 6.16). Для подъема используется 8—10 домкратов, т. е. домкраты подводятся не под каждое ребро жесткости.

После этого вырезается половина днища и надвигается с поворотом на вторую половину днища. Основание ремонтируется подбивкой и утрамбовкой грунта. Затем вырезанная половина возвращается на место, устанавливается с нахлестом и приваривается, на нее заводится вторая половина днища для ремонта второй половины основания. После установки на место второй половины днища зазор между половинами днища, образовавшийся из-за установки их на старое место с нахлестом, закладывается накладной полосой, привариваемой к обеим половинам днища.

Замена днища осуществляется следующим образом. В первом поясе корпуса вырезается монтажное «окно» размером 2000 × 1500 мм. Резервуар поднимается от основания на высоту 150—200 мм. Днище разрезается на куски, которые отрезаются от корпуса по периметру снаружи и внутри резервуара. Из резервуара удаляется обрезанный металл. Нивелируется основание с последующим покрытием гидрофобным изолирующим слоем. Через монтажное «окно» подаются заготовленные листы и окрайки. Днище и окрайки собираются и свариваются в два слоя. Корпус резервуара опускается на окрайки, и завариваются круговые швы, прикрепляющие первый пояс корпуса к днищу. Далее завариваются швы, прикрепляющие окрайки к полотну днища.

При образовании в днище резервуара небольших раковин песчаная подушка под резервуаром пропитывается нефтепродуктом. Для возможности проведения огневых работ в резервуаре все раковины заклеиваются эпоксидной смолой, а сверху эпоксидным клеем наклеивается паронит.

Предотвращение коррозии днища емкостей для хранения углеводородов достигается в период ремонта нанесением цементного торкрет-покрытия. Покрытие состоит из цемента марки 400—500 и тонкомолотой добавки речного песка в массовом соотношении 1 : 2. В качестве добавки используется также диабазовая мука или молотый кварцевый песок.

Процесс изготовления цементного покрытия включает в себя следующие операции.

Защищаемая поверхность очищается от ржавчины. Для того чтобы придать цементному покрытию прочность, на днище натягивается арматурная сетка из проволоки диаметром 3—5 мм с ячейками от 60 × 60 до 100 × 100 мм. Перед монтажом сетка очищается от грязи и жира и натягивается на монтажные крючья.

Сухая смесь для торкрет-покрытия готовится в растворомешалке. При производстве работ по нанесению торкрет-покрытия используются цемент-пушка, воздухоочиститель, бак для воды и компрессор, обеспечивающий давление не менее 0,5 МПа. Цементное покрытие наносится в 2—3 приема. Общая толщина торкрет-покрытия на днище резервуара должна быть равна 70 мм. Между первым и вторым слоем покрытия укладывается армирующая сетка. Во время схватывания цементного раствора покрытие орошается водой и затем выдерживается под водой в течение 15—20 суток.

Для предотвращения коррозии таких резервуаров кроме нанесения торкрет-покрытия проводится окраска внутренней поверхности. Перед окраской резервуар пропаривается, осуществляется очистка внутренней поверхности пескоструйным аппаратом и протирка ветошью, смоченной в бензине. Окраска ведется с передвижных лесов, сооруженных внутри резервуара. Если нет необходимости заменять днище целиком, его ремонтируют. Ремонт заключается в устранении трещин и выпучин. Концы трещин засверливаются сверлом диаметром 6—8 мм, затем трещины разделяются обычным способом, устанавливается подкладка и трещина заваривается.

Над выпучиной вырезается отверстие диаметром 200—250 мм и в полость между основанием и днищем засыпается гидрофобная смесь, состоящая из песка и вяжущего вещества — малосернистого мазута. В некоторых случаях в качестве вяжущего вещества используется малосернистая нефть, что позволяет механизировать процесс приготовления изолирующей смеси с помощью роторо- или бетономешалки. Вяжущее вещество добавляется в пределах 8—10% от объема песка. Влажность песка, идущего на приготовление смеси, должна быть не более 5% (масс.). Приготовленный гидрофобный состав засыпается в отверстие периодически после трамбовки вибраторами. После прекращения усадки трамбуемой массы на вырезанное отверстие устанавливается накладка диаметром 30—35 см и обваривается (рис. 6.17). Так исправляются выпучины высотой  $h < 200$  мм.

При  $h > 200$  мм распускаются сварные швы в районе выпучины и удаляются деформированные листы. Удаленные листы заменяются новыми, которые подгоняются к листам полотна внахлестку по коротким и длинным кромкам и привариваются. Этот метод весьма трудоемок, требует замены нескольких листов и не всегда позволяет полностью устранить пустоты под днищем. При значительном числе выпучин составляется карта-схема и в указанных местах в днище вырезаются отверстия. В отверстия нагнетается цементно-песчаный раствор (1 : 5) с водоцементным отношением, равным 0,50. Для приготовления раствора можно использовать низкосортный цемент марки 300—400. Песок должен быть просеян, а количество пылевидных частиц не должно превышать 30—40%. Приготовленный раствор подается насосом под

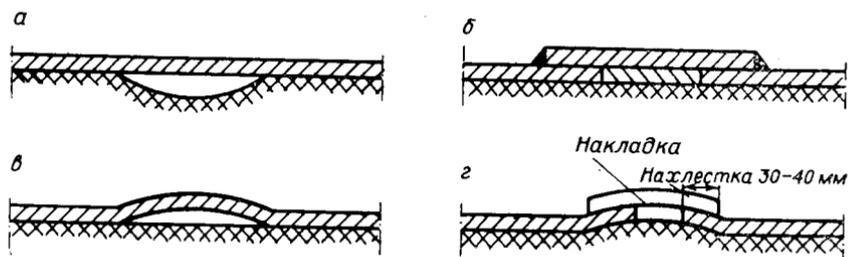


Рис. 6.17. Исправление выпучины в днище:

*a* — местная просадка основания; *б, в* — участки, отремонтированные установкой накладки; *г* — выпучина в днище.

днище резервуара в вырезку под выпучиной. Качество заполнения пустоты проверяется по контрольным отверстиям, высверленным в днище в направлении радиусов от вырезки. Эти отверстия служат также для выхода воздуха из-под днища.

#### 6.4. РЕМОНТ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Ремонт поршневых компрессоров.** Главные детали компрессора совершают вращательное или относительное поступательное движение, поэтому они подвержены интенсивному износу. Основные виды износа в деталях поршневого компрессора связаны с характером движения и действующими нагрузками и могут быть следующими: 1) коленчатый вал — изменение формы и размеров шатунных и коренных шеек вала, трещины в местах перехода шеек к щекам, прогиб; 2) коренные подшипники — износ баббитовой заливки, коробление вкладышей; 3) шатун — изгиб шатуна, износ вкладышей, вытягивание шатунных болтов; 4) крейцкопф — износ направляющих и пальца; 5) шток — износ штока в месте прохода через сальник, изгиб, срыв резьбы; 6) поршень — износ отверстий для установки поршневых колец, износ колец; 7) цилиндр — изменение формы цилиндра (овальность, конусность, бочкообразность); 8) клапаны — износ пружин и рабочих поверхностей седла и тарелки клапана.

По сроку службы детали можно разделить на три группы: 1) быстроизнашивающиеся сменные — поршневые кольца, набивка сальника, клапанные пластины и пружины; 2) со средним сроком службы — вкладыши коренных подшипников и шатуна, пальцы шатуна и крейцкопфа; 3) с длительным сроком службы — коленчатый вал, шатун, крейцкопф, цилиндры, поршни.

Подготовка к ремонту заключается в остановке компрессора, отключении от электросети, освобождении от продукта, чистке,

продувке, подборе инструмента, приспособлений и запасных частей.

В начале разборки демонтируются наружные трубопроводы, вентили, манометровый щит, масляные фильтры, водяной трубопровод компрессора и полумуфта маховика.

Компрессор имеет ряд однотипных деталей: клапаны, вкладыши подшипников, крепежные изделия и т. д., которые либо подгонялись при первоначальной сборке, либо прирабатывались в процессе работы с сопрягаемыми деталями; поэтому после ремонта их надо устанавливать на прежние места. При разборке необходимо проверять наличие маркировки у одинаковых деталей и при ее отсутствии наносить керном на нерабочие места соединяющихся деталей условные знаки или выбивать одинаковые цифры.

При последующей разборке компрессора снимаются крышки цилиндров, нагнетательные клапаны с буферными пружинами, демонтируются клапанные доски, открываются боковые крышки картера и проворачивается коленчатый вал так, чтобы поршни оказались в верхнем положении, удобном для снятия всасывающих клапанов. После этого разбирается и извлекается шатунный подшипник и при помощи рым-болтов вынимается поршень с шатуном, при помощи съемника снимается маховик, а затем открывается крышка сальника. Далее разбираются сальник, всасывающие и нагнетательные вентили. При разборке проводится дефектация деталей.

Ревизия цилиндра состоит в проверке состояния его поверхности. Как отмечалось выше, поверхность должна быть зеркально гладкой, без рисок, задиров, выбоин и других дефектов. Наличие на поверхности таких повреждений свидетельствует об абразивном износе и требует ремонта и установления причин, вызвавших попадание твердых частиц в цилиндр.

Внутренний диаметр цилиндра для определения величины износа должен быть измерен с помощью штихмасса в 3—5 сечениях по высоте и в двух плоскостях — вдоль оси вала и в плоскости движения кривошипного механизма (перпендикулярно оси вала).

При ревизии поршня с поршневыми кольцами проверяются зазоры в рабочих сопряжениях. Зазор между поршнем и цилиндром должен обеспечить свободное перемещение поршня в нагретом состоянии. Радиальный зазор между поршнем и цилиндром должен составлять от  $\frac{1}{1000}$  до  $\frac{1}{600}$  диаметра цилиндра.

Основная причина преждевременного износа поршней компрессоров — перекося механизма движения. Поэтому для предупреждения аварийного износа поршня и цилиндра чрезвычайно важно контролировать зазоры, определяющие центровку поршня, и своевременно устранять даже небольшие перекосы механизма движения с целью предупреждения заедания и заклинивания поршня.

При увеличении зазоров между поршнем и цилиндром выше допустимых значений поршень заменяется новым.

При дефектации к поршневым кольцам предъявляются следующие требования: поршневое кольцо должно входить в канавку свободно (заедание устраняют шабровкой), зазор между канавкой и кольцом должен быть в пределах 0,05—0,08 мм. Проверяется также зазор в замке колец. Этот зазор зависит от диаметра цилиндра и величина его колеблется для цилиндра диаметром 150—300 мм от 0,8 до 1,5 мм. Радиальный зазор должен быть равен 0,4—0,5 мм. Зазор измеряется щупом, который вводится между утопленным в канавку кольцом и металлической линейкой, положенной на поршень вдоль его образующей.

Если величина износа поршневых колец превышает норму, кольца заменяются новыми. Однако количество одновременно заменяемых колец не должно быть больше половины их общего числа; остальные кольца заменяются только после того, как проработаются по цилиндру ранее поставленные кольца.

Одной из важнейших деталей компрессора является коленчатый вал, ремонт которого сложен, требует значительных затрат времени и высококвалифицированного труда. Дефектация коленчатого вала проводится особенно тщательно. Нарушение цилиндрической формы шеек коленчатого вала возникает в результате неравномерных усилий при возвратно-поступательном движении.

Проверка износа и степени искажения формы шейки вала осуществляется микрометрической скобой с индикатором, имеющим цену деления 0,01 мм. Измерения проводятся в трех сечениях, одно из которых находится посередине шейки, а два других — по ее краям на расстоянии 5—10 мм от галтелей. В каждом поясе диаметр шейки измеряется в двух плоскостях — вертикальной и горизонтальной. Данные измерений заносятся в специальный формуляр.

Увеличение радиального зазора между шейкой вала и подшипником является следствием износа последнего. При значительном износе вкладышей возникает большая утечка масла из подшипника, приводящая к нарушению жидкостной смазки. В результате этого подшипник нагревается и в нем появляются стучки. При износе коренных подшипников уменьшается толщина абразивного слоя, вследствие чего вал опускается, нарушается его горизонтальность и соосность с подшипниками. Это приводит к интенсивному износу как подшипников, так и вала.

Масляный зазор проверяют свинцовой проволокой, которую сдавливают в подшипнике, уложив ее на шейку вала и затянув крышку. Толщина проволоки, измеренная микрометром после ее сдавливания, должна соответствовать величине масляного зазора, указанной на чертеже.

Для дефектации и проверки подшипников качения используется специальное приспособление, которое состоит из передней и задней бабок с зажимом. На вертикальной штанге устанавли-

ваются индикатор. Проверяемый подшипник зажимается с двух сторон специальными центрами, а снизу поддерживается стержнем. При проверке подшипник проворачивается рукой.

Коленчатые валы и коренные подшипники. Ревизия коленчатого вала и коренных подшипников проводится не реже одного раза в год. При этом проверяются: 1) состояние вала, его шек, шеек, галтелей с целью обнаружения задиры и забоины; 2) биение шеек, овальность и конусность; 3) наличие поверхностных и внутренних трещин вала; 4) положение оси вала по расхождению шек.

Проверка состояния коленчатого вала начинается с проверки зазоров в соединении вала с коренными подшипниками с помощью щупа, в соединении шатунных шеек с шатуном и проверки положения оси вала по расхождению шек. Эти виды контроля могут указывать на взаимный износ сопрягаемых поверхностей коленчатого вала, коренных подшипников, шатуна.

Если отклонение формы превышает допустимые пределы, шейки шлифуют. Допускаемое уменьшение диаметра составляет 3% от первоначального значения диаметра. При большом износе вал протачивается и привариваются рубашки, состоящие из двух половинок. Сварные швы соединяют половинки рубашки между собой и с шейкой вала. Крутящий момент на шейке вала незначителен, и сварных швов достаточно для обеспечения прочности соединения.

Задиры и забоины, обнаруженные на шейках и галтелях коленчатого вала исправляются шлифовкой или проточкой с последующей шлифовкой. Проточке подвергаются коренные и шатунные шейки, если овальность и конусность превышают максимальный допуск 0,15 мм. Отклонения диаметра отремонтированных шеек не должны превышать нормальных допусков на овальность и конусность: для коренных шеек — 0,03 мм, шатунных шеек — 0,01 мм; на биение — 0,05 мм. Расхождение шек должно быть не выше 0,14 мм или  $0,00025s$  (где  $s$  — ход поршня). Восстановление номинального значения диаметра шеек возможно путем наплавки и последующей шлифовки. Трещины устраняются заваркой, а прогиб вала — правкой механическим, термическим и термо-механическим способами.

При осмотре коренных подшипников выполняются следующие работы: 1) проверяется расхождение шек коленчатого вала в двух положениях; 2) проверяется зазор у верхнего вкладыша для вертикальных компрессоров и у боковых вкладышей для горизонтальных компрессоров; 3) осматривается баббитовая заливка подшипников; 4) проверяется прилегание поверхностей вкладышей к шейкам вала и к корпусам подшипников.

Боковые зазоры проверяются щупом, а верхние — оттиском свинцовой проволоки диаметром 1—1,5 мм, которую закладывают под верхний вкладыш. После этого устанавливается и затягивается верхняя крышка подшипника, затем подшипник

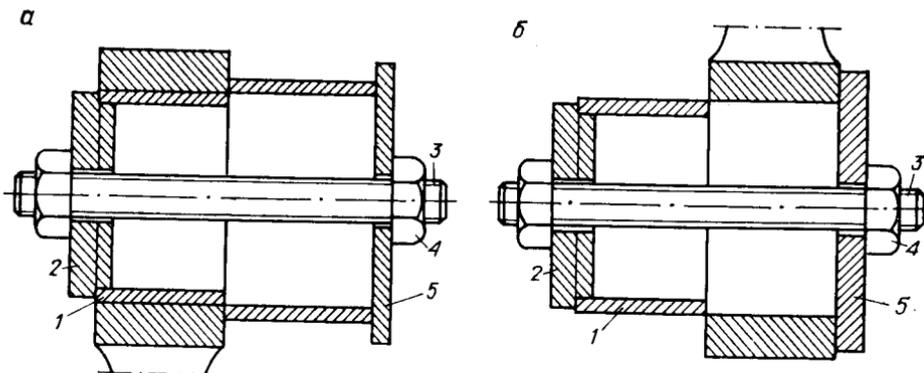


Рис. 6.18. Приспособление для выпрессовки (а) и запрессовки (б) втулок крейцкопфной головки шатуна:

1 — втулка; 2 — диск; 3 — болт; 4 — гайка; 5 — оправка.

разбирается и свинцовая проволока измеряется с помощью штангенциркуля или микрометра.

Основной вид износа подшипников скольжения — изменение размеров и формы антифрикционной заливки. При небольшом увеличении зазора между заливкой и валом возможно уменьшение этого зазора при снятии прокладок между половинками вкладышей. Основным же методом ремонта подшипников является перезаливка антифрикционного сплава с последующей расточкой, шабрением и пригонкой по шейке вала.

Заливка осуществляется вручную или центробежным способом. Качество заливки должно быть такое, чтобы вкладыш при обстукивании молотком давал чистый звук. Дребезжащие и глухие звуки указывают на то, что заливка местами не пристала к вкладышу.

**Ш а т у н.** Стержень шатуна и шатунные болты проверяются на трещины с помощью керосина. При наличии трещин шатун необходимо заменить.

Прогиб стержня шатуна устраняется правкой в холодном состоянии либо с подогревом. Параллельность осей отверстий кривошипной и крейцкопфной головок шатуна проверяется после установки в отверстия оправок и выверки на специальном приспособлении параллельности оправок. Непараллельность свидетельствует о скрученности шатуна. Скрученные шатуны подлежат замене.

Вкладыши головок шатуна при значительной выработке заменяются. Кривошипная головка имеет разъем, и незначительная выработка вкладышей может компенсироваться уменьшением толщины прокладок в раземе. При значительной выработке вкладыши заменяются. При аналогичных условиях подлежит замене и втулка крейцкопфной головки шатуна. Приспособление для замены втулок показано на рис. 6.18. Шатунные болты при наличии трещин, сорванной резьбы, а также при вытяжке не ремонтируются и заменяются новыми.

При осмотре шатунных болтов проверяется целостность шплинтов, неизменность затяжки болтов, прилегание опорных поверхностей головок болта и гайки, остаточное удлинение болтов. Упругое удлинение болтов из углеродистой стали должно составлять 0,0003, а из легированной стали — 0,0004 длины болта. Длина болта не должна отличаться от установленной при затяжке более чем на 0,03 мм.

Определение остаточного удлинения шатунного болта осуществляется микрометром. Для этого на торцах головки каждого болта и его нарезной части высверливаются торцевой фрезой площадки для контроля. Болт имеет паспорт. Номер болта заводом-изготовителем выбивается на головке. Номер должен выбиваться и при изготовлении болта в РМЦ.

Приспособление, облегчающее определение величины остаточного удлинения крупных шатунных болтов, представлено на рис. 6.19. К основанию 1 приварены две стальные стойки 2 со стальными призмами 4, закрепленными с помощью болтов в верхней части стоек. Стойки имеют пазы для установки и закрепления микрометров с помощью винтов 7 и планок 6. Болт 5 укладывается в призмы 4, и микрометром 3 замеряется остаточное удлинение.

Проверка затяжки болтов осуществляется на холодном компрессоре не ранее, чем через 5—6 ч после его остановки. Болты и гайки с дефектной резьбой и наличием острых переходов выбраковываются. Выбраковка проводится и при остаточном удлинении, превышающем  $0,0024L$  (где  $L$  — начальная длина болта). Предельный срок службы шатунных болтов вне зависимости от их состояния не должен превышать  $10^7/n$  рабочих часов (где  $n$  — частота вращения вала,  $\text{мин}^{-1}$ ).

**К р е й ц к о п ф.** Крейцкопф состоит из стального корпуса, чугунных башмаков с баббитовой заливкой, пальца для крепления шатуна, гайки и муфты для крепления штока. При осмотре и ремонте этой сборочной единицы следует проверить все детали на усталостные трещины и прилегание опорных поверхностей бурта, крейцкопфа, муфты и гайки. Опасные сечения проверяются ультразвуком, цветной дефектоскопией или меловой пробой.

Корпус крейцкопфа подлежит ремонту в следующих случаях: 1) если в отверстиях (проушинах) под палец и на опорных поверхностях, сопрягающихся с гайками крепления штока, образовался наклеп; 2) если более чем в 10% отверстий для болтов сорвана резьба; 3) если имеются трещины на корпусе.

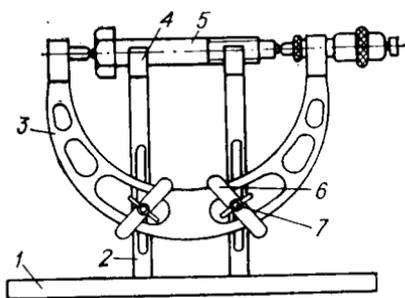


Рис. 6.19. Приспособление для определения величины остаточного удлинения шатунных болтов:

1 — основание; 2 — стойка; 3 — микрометр; 4 — призма; 5 — болт; 6 — планка; 7 — винт.

Башмак перезаливается в тех случаях, когда после пригонки по направляющей крейцкопфа толщина слоя баббита составляет менее 1,5 мм, а также когда баббит отслоился от тела башмака более чем на 10% поверхности заливки и когда более 15% поверхности заливки покрыто трещинами.

Палец крейцкопфа заменяется при наличии изломов и трещин. Ремонт пальца в зависимости от характера и величины износа проводится: 1) шлифованием рабочей поверхности; 2) хромированием с последующим шлифованием; 3) хромированием или наваркой сталью цапф с последующей механической обработкой и притиркой их с проушинами крейцкопфа. Овальность и конусность рабочей поверхности пальца не должна быть более 0,02 мм. Цапфы должны иметь конусность 1 : 20.

При сборке проверяется правильность прилегания друг к другу опорных поверхностей крейцкопфа, муфты и гайки. Зазор между направляющей и ползуном крейцкопфа должен быть равен 0,2—0,3 мм.

Шток, имеющий конусность и эллипсность 0,8 мм, протачивается и шлифуется. Проточка штока допустима, если его диаметр уменьшится не более чем на 1,0 мм от начального размера. Шток выбраковывается при наличии изломов, трещин и срывов резьбы, превышающих 10% длины резьбы. Сальники заменяются при наличии пропуска газа либо после года их непрерывной работы.

Поршни и поршневые кольца. При ревизии поршней обычно проверяется состояние несущей поверхности, крепления поршня на штоке, величина выработки канавок, состояние и степень износа поршневых колец.

Поршень подлежит замене при наличии изломов, трещин, при износе, превышающем допустимые нормы, при разработке канавок для поршневых колец.

Не имеющий изломов и трещин и находившийся в эксплуатации поршень ремонтного размера может быть использован в цилиндре нормального диаметра после его обработки по наружному диаметру, а также обработки канавок для поршневых колец, подторцовки кольцевой поверхности под опорный фланец штока.

В поршневых кольцах проверяется рабочая поверхность, замеряются величины износа кольца и торцевые зазоры. Обнаруженные заусенцы на кромках колец и канавках поршня удаляются напильником или шабером. Торцовый зазор между стенкой канавки и поршневым кольцом должен быть равен 0,05—0,1 мм. Поршневое кольцо должно утопать в канавке поршня на 0,3—0,5 мм. Величина износа кольца не должна быть больше 30% первоначальной толщины. Величина соприкосновения поверхности кольца с зеркалом цилиндра должна быть не менее  $\frac{2}{3}$  общей длины окружности кольца. На остальной  $\frac{1}{3}$  части допускается зазор до 0,05 мм.

Чугунные поршневые кольца имеют низкую работоспособность и требуют применения смазки. Поэтому на компрессорах

устанавливаются поршневые кольца из неметаллических материалов (композиции фторопласт — кокс), наполненных графитом пластмасс, боросилицированного графита.

Чистый фторопласт обладает хорошей химической стойкостью, малым коэффициентом трения, широким диапазоном рабочих температур, однако он подвержен деформации под нагрузкой и интенсивному износу. Наполнители, вводимые во фторопласт, повышают сопротивление износу примерно в тысячу раз, сопротивление нагрузке давлением — в 2—5 раза; тепловое расширение снижается в 2—3 раза. Аналогичное влияние оказывают наполнители на свойства других полимеров.

Кроме того, используются поршневые кольца манжетного типа (рис. 6.20), которые обеспечивают высокую герметичность уплотнения независимо от степени их износа. Кольца из капрона изготавливают методом литья под давлением в пресс-формах. Кольца из графитофторопластовых и коксофторопластовых композиций получают путем механической обработки заготовок на токарном станке.

**Шток.** При изгибе или дефектах резьбы шток подлежит замене. Изменение формы (овальность, конусность) поверхности штока в местах ее соприкосновения с набивкой сальника устраняется шлифовкой. При значительном износе возможно восстановление номинального диаметра штока хромированием и наплавкой с последующей проточкой и шлифовкой. При использовании для набивки сальника коксофторопластовых колец, а также колец, изготовленных из капролона, наполненного графитом, износ штока снижается.

**Цилиндры.** В процессе работы происходит увеличение диаметра цилиндра по сравнению с первоначальным и искажение правильной геометрической формы. При ревизии проверяется наличие изъянов на зеркале цилиндра (рисок, задиры, трещины и т. п.). Замер износа цилиндра проводится в трех сечениях (в средней части и на расстоянии 30—50 мм от переднего и заднего краев рабочей поверхности) в двух взаимно перпендикулярных направлениях для каждого сечения. Цилиндр растачивается в следующих случаях: 1) при наличии продольных рисок глубиной более 0,25 мм или грубых кольцевых задиров, превышающих 10% длины окружности; 2) при бочкообразности 1,25—1,5 мм; 3) при овальности 0,5—0,6 мм. При этом допускается увеличение диаметра цилиндра на 2% от проектного размера. Уменьшение толщины стенки после расточки не должно превышать 10%

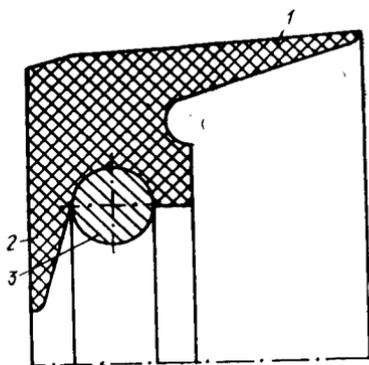


Рис. 6.20. Поршневое кольцо манжетного типа:

1 — кромки уплотнения цилиндра;  
2 — кромки уплотнения канавки поршня; 3 — экспандер.

номинальной толщины. При большой степени износа или при повторном ремонте в цилиндр вставляется гильза. Расточенный или новый цилиндр подвергается гидравлическому испытанию согласно требованиям и правилам Госгортехнадзора.

Для расточки цилиндров крупных компрессоров применяется переносное приспособление, которое крепится на цилиндре с помощью двух фланцев. Внутри цилиндра вводится резцовая головка, приводимая во вращение электродвигателем через червячный редуктор. При монтаже приспособления штангу выверяют на соосность с цилиндром с помощью индикатора, после чего резец устанавливается на нужный диаметр расточки.

После расточки цилиндра поршень заменяется другим, с увеличенным диаметром. При наличии трещин на наружных стенках водяных и воздушных полостей цилиндра ремонт проводится постановкой ввертышей, стальных хомутов с резиновой прокладкой либо заваркой с последующим гидравлическим испытанием.

Цилиндры, имеющие трещины на внутренней поверхности, выбраковываются.

**К л а п а н ы.** При работе тарельчатых клапанов наблюдается образование отложений в отверстиях седла и тарелки, износ пластин, пружин и ограничителей подъема пластин. При ремонте клапан выпрессовывается из цилиндра. Для выпрессовки клапана соединительный болт делается удлиненным. Это позволяет проводить выпрессовку клапана при захвате за выступающую резьбовую часть болта. Детали клапана очищаются и промываются.

При эксплуатации пластины клапанов подвергаются короблению; кроме того, на них могут образовываться трещины. Разрушенные клапанные пластины подлежат замене. При возможности ремонта пластины с обеих сторон шлифуются. Шлифовка проводится только concentрично. После ремонта или изготовления (вырезка, правка, предварительная шлифовка, термообработка, шлифовка) пластины проверяются на плоскостность с помощью щупа на контрольной плите.

Ограничитель подъема пластины, изготавливаемый из фторопласта, при ремонте также заменяется новым. Ограничитель с фиксированным положением запрессовывается в цилиндрическую канавку, а ограничитель плавающего типа устанавливается при сборке клапана. Пружина всасывающих клапанов в сжатом состоянии не должны создавать противодавление засасываемому газу более 0,002—0,003 МПа. Клапаны выбраковываются в случае пропускания газа. Перед постановкой нового или отрегулированного клапана проверяется величина подъема его пластины, качество шплинтовки гайки и состояние уплотняющих поверхностей внутри полости цилиндра и на корпусе клапана. При необходимости осуществляется притирка поверхности цилиндра, на которую напрессовывается клапан. Для притирки используется приспособление, показанное на рис. 6.21.

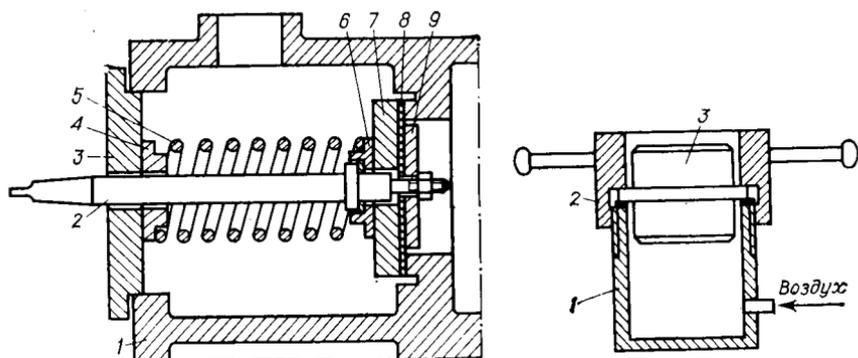


Рис. 6.21. Приспособление для притирки посадочной поверхности цилиндра под клапан:  
 1 — корпус компрессора; 2 — оправка; 3 — фланец; 4, 6 — направляющие втулки; 5 — пружина; 7, 9 — шайбы; 8 — наждачная бумага.

Рис. 6.22. Приспособление для проверки клапана на плотность:  
 1 — корпус; 2 — прижимной стакан; 3 — клапан.

Приспособление имеет оправку 2, втулку 6 и две шайбы 7 и 9. Между шайбами укладывается слой наждачной бумаги 8. Приспособление устанавливается в корпус компрессора, на оправку надеваются пружина 5 и направляющая втулка 4, затем закрепляется фланец 3, и конец оправки, выполненный в виде конуса, присоединяется к пневмодрели.

При ревизии предохранительных клапанов проводится разборка, чистка и проверка состояния уплотнительных поверхностей клапана и его седла. Уплотнительные поверхности клапана и седла, имеющие забоины, риски и дефекты коррозии, протачиваются и затем тщательно притираются. Клапан регулируется на давление, превышающее 15% от перепада давления между нагнетанием и всасыванием.

Прямоточные клапаны, устанавливаемые на газовых и воздушных компрессорах, при отсутствии видимых повреждений подвергаются испытанию на плотность (рис. 6.22).

Приспособление для проверки прямоточных клапанов имеет корпус и прижимной стакан. Клапан устанавливается в корпусе приспособления и прижимается стаканом. Затем в корпус подается воздух и по падению давления определяется герметичность. Незначительный пропуск воздуха допустим, так как в процессе работы пластины прирабатываются.

При недостаточной плотности клапан подлежит разборке для выявления причин потери плотности. Такими причинами могут быть поломка пластин с выкрашиванием отдельных участков, появление трещин в пластинах, отложение нагара на седлах клапана.

Поломка пластин обычно видна без разборки клапана. Трещины в пластине у места заземления обнаруживаются при

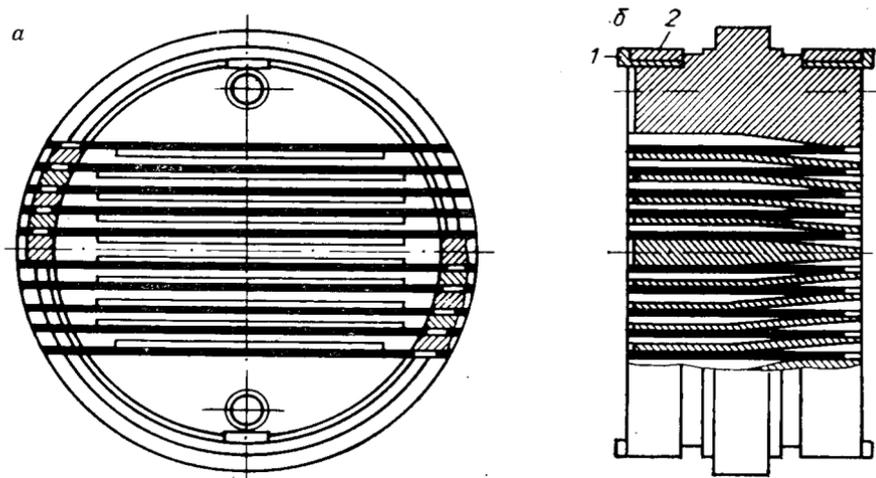


Рис. 6.23. Пластинчатый клапан:  
 а — пакет пластин и седел; б — клапан в сборе;  
 1 — стопорная планка; 2 — кольцо крепления.

отгибании пластины ножом до полного ее открытия. Дефектные пластины заменяются при разборке клапана.

Пластины прямооточных клапанов газовых компрессоров, изготовленные из капролона или фторопласта, реже ломаются, чем стальные.

Очистка деталей клапана от нагара осуществляется инструментом без острых граней и кромок во избежание образования рисок на уплотняющих поверхностях.

Разборка и сборка клапанов проводится на кольцевой плите, дающей возможность собрать пластины и седла в пакет деталей (рис. 6.23, а). Пакет стягивается по наружному диаметру специальным кольцевым хомутом, а затем после закладки стопорных планок 1 в пазы боковых седел насаживаются кольца крепления 2 (рис. 6.23, б). При установке пластин проверяется отклонение их языка в нишу седла. Отсутствие свободного отклонения свидетельствует о защемлении пластины между седлами клапана. После сборки клапан продувается сжатым воздухом и испытывается на плотность.

**Фундамент и станна.** При осмотре состояния фундамента проводится замер и определяется характер осадки, проверяется наличие трещин и зазоров между фундаментом и полом машинного зала. При проникновении масла в массив фундамента и при образовании в нем трещин фундамент подвергается ремонту. Бетон в местах прохождения трещин или пропитанный маслом удаляется до обнаружения прочного и монолитного слоя. Надежная связь между массивом фундамента и вновь укладываемым

бетоном обеспечивается насечкой, очисткой и увлажнением поверхности фундамента или за счет армирования.

Дефекты станины возможны по следующим причинам: 1) изменение положения в результате неравномерной осадки фундамента; 2) изменение геометрии из-за остаточных линейных напряжений; 3) появление изломов и трещин в результате неравномерной затяжки рамы; 4) ослабление крепления к фундаменту.

Станина снимается с фундамента в следующих случаях: 1) при наличии изломов, трещин, раковин; 2) при отставании опорной поверхности станины фундамента более чем на 50% периметра; 3) при уклоне станины, превышающем в продольном и поперечном направлениях 0,2 мм на 1 м длины.

**Обкатка компрессора.** После ремонта компрессор обкатывается в соответствии с инструкцией при включенной сигнализации и системе блокировки. Во время обкатки осуществляется наблюдение за температурой подшипников, за подачей смазки к параллелям направляющих, в цилиндры и сальники, за наличием стуков в кривошипно-шатунном механизме и за чистотой фильтров очистки масла. При нарушении нормальной работы компрессора во время обкатки его необходимо немедленно остановить. После обкатки проверяется качество приработки деталей шатунно-поршневой группы.

**Ремонт центробежных компрессоров и турбогазодувок.** Ротор. При работе ротор компрессора испытывает сложные напряжения от действия центробежных сил, динамических нагрузок со стороны потока рабочей среды и температурных деформаций.

При ревизии ротора выполняются следующие операции: 1) проверка на загрязнение, коррозию и эрозию с последующей очисткой; 2) выявление всевозможных повреждений, трещин и т. п.; 3) проверка плотности посадки деталей ротора, состояния шеек и поверхности упорного диска; 4) проверка шеек вала на овальность и конусность; 5) проверка рабочей поверхности упорного диска на биение и плоскостность; 6) проверка ротора на динамическую балансировку с последующей проверкой вибрации работающего компрессора.

После очистки ротора от различных отложений на рабочих колесах и в лабиринтах уплотнений, а также от следов коррозии выявляются всевозможные трещины в деталях ротора. Особенно тщательно проверяются галтели, места изменения профиля дисков колес, сечения, ослабленные отверстиями, шпоночными пазами, места около заклепочных головок на дисках и т. п. При среднем ремонте проверка осуществляется визуально, при капитальном — методом цветной дефектоскопии.

Образующиеся на валу и на рабочих колесах трещины имеют усталостный характер. Они возникают вследствие повышенных динамических нагрузок, неудовлетворительной сборки узла упорного подшипника, коррозии и других факторов. Детали с трещинами подлежат выбраковке. Царапины и задиры зачищаются

и шлифуются до нижнего предела допуска. Шейки валов протачиваются, а затем шлифуются. Уменьшение диаметра шеек возможно не более 3,0% от номинальной величины. Риски и шероховатости на шейках вала ротора зачищаются мелкозернистым наждачным полотном с последующей полировкой пастой ГОИ. Шероховатость поверхности шеек ротора должна быть не ниже девятого класса.

Овальность и конусность шеек вала ротора замеряются с помощью микрометрической скобы. Предельно допустимая величина выбирается в зависимости от диаметра шейки. Для диаметра шейки до 100 мм овальность и конусность 0,015 мм, для диаметра свыше 100 мм овальность и конусность 0,020 мм.

При проверке на биение ротор укладывается на опорные подшипники. Для устранения осевого смещения используется упорный подшипник. Проверка осуществляется индикатором через 300—500 мм. Сечения выбираются у шеек вала, концевых уплотнений, между рабочими колесами, по окружности полумуфта и упорного диска. Результаты проверки оформляются в виде графика. Обнаруженный прогиб вала ротора выправляется на месте или в механической мастерской на токарном станке. После ремонта путем проточки или шлифовки величина биения шеек вала, полумуфта и упорного диска не должна превышать значений, приведенных в табл. 6.1.

При ремонте ротора довольно часто приходится снимать, а затем насаживать на вал рабочие колеса, упорные диски и полумуфты. Снятие и посадка деталей осуществляются после нагревания их с помощью газовых горелок до 200—250 °С. Величина осевого биения колес, насаженных на вал, не должна превышать 0,3—0,5 мм.

Основные зазоры между ступицами или втулками рабочих колес, дистанционными и закладочными кольцами должны составлять 0,10—0,25 мм.

Величина насадочного натяга для сборочных единиц принимается по приведенным в табл. 6.2 данным.

Обнаруженные риски и шероховатости на рабочей поверхности упорного диска удаляются шлифованием пастой ГОИ с помощью чугунных притиров (рис. 6.24). Шлифовка проводится сначала

Таблица 6.1

Детали ротора	Предельная величина биения, мм
Шейка вала . . . . .	0,02
Втулка уплотнений . . . . .	0,05
Полумуфты:	
по окружности . . . . .	0,03—0,05
по торцу . . . . .	0,02
Упорный диск по окружности и торцу . . . . .	0,02

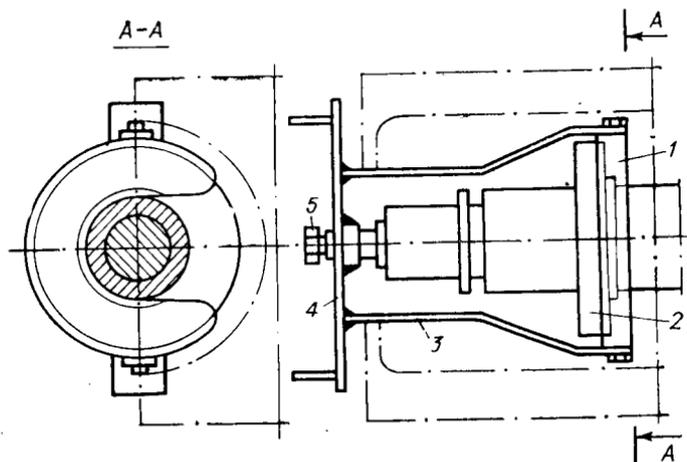


Рис. 6.24. Приспособление для шлифовки упорного диска:  
 1 — притир; 2 — упорный диск; 3 — тяга; 4 — планка; 5 — нажимной болт.

грубой, а затем средней и тонкой пастами. Шероховатость поверхности упорного диска должна быть не ниже девятого класса.

Рабочая поверхность упорного диска проверяется на биение с помощью двух индикаторов. Индикаторы закрепляются на плоскости разъема корпуса подшипника около диска (рис. 6.25). Диск разделяется на восемь равных частей. Измерительные лапки индикаторов устанавливаются на проверяемой плоскости в 10—15 мм от обода диска. Ротор медленно поворачивается. Записываются показания индикаторов одновременно для двух точек, расположенных на одном диаметре. Проверка на биение проводится не менее двух раз при смещении планок индикаторов на 5—10 мм к центру диска. Допустимая величина биения плоскости диска должна быть не более 0,02 мм.

Проверка геометрии рабочей плоскости упорного диска осуществляется с помощью контрольной линейки и щупа по схеме, приведенной на рис. 6.26. Незначительные отклонения величины

Таблица 6.2

Сборочные единицы ротора	Величина натяга, мм
Рабочие колеса:	
легконагруженные	$(0,0008 \div 0,001) d$
средненагруженные	$(0,001 \div 0,0012) d$
тяжелонагруженные	$(0,0014 \div 0,0016) d$
Упорные диски . . . . .	$(0,0006 \div 0,0008) d$
Полумуфты . . . . .	$(0,0003 \div 0,0006) d$

Примечание:  $d$  — диаметр вала, мм.

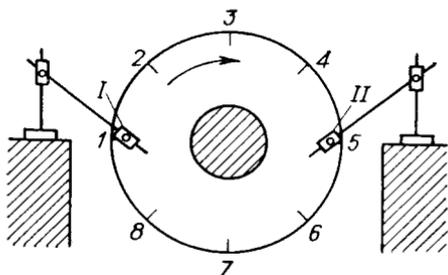


Рис. 6.25. Схема проверки упорного диска на биение двумя индикаторами:  
 I, II — индикаторы;  
 1—8 — номера позиций.

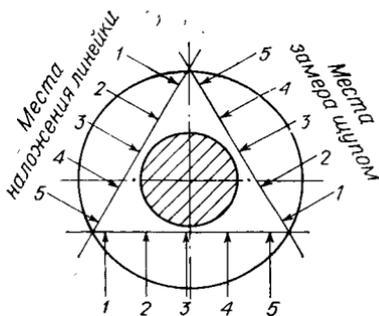


Рис. 6.26. Проверка плоскости упорного диска.

биения диска и его геометрии от норм исправляются шабровкой и шлифованием на месте.

После ремонта ротора проводится его динамическая балансировка.

**Опорные и упорные подшипники.** Опорные подшипники воспринимают и передают корпусу вес ротора и динамические переменные усилия от его вибрации. Подшипники фиксируют радиальное положение ротора относительно корпуса. В процессе работы изнашиваются вкладыши подшипника. Возможно также подплавление баббитовой заливки вкладышей. При проверке этих подшипников проводятся те же работы, что и при осмотре коренных подшипников поршневых компрессоров.

Зазоры в подшипниках проверяют после остывания шеек вала и зачистки баббита в местах натиров. Верхние зазоры вкладышей определяются при помощи штитхмасса и микрометра. При необходимости проверка верхнего зазора во вкладышах подшипников осуществляется по свинцовым оттискам, без выемки ротора. Свинцовые проволоки диаметром 1,0—1,5 мм и длиной 30—50 мм укладываются в соответствии со схемой (рис. 6.27) на шейку вала и на поверхность разъема нижнего вкладыша. Величина верхнего зазора определяется по формулам:

$$A = b - \frac{a + a_1}{2}$$

сечение II

$$C = b_1 - \frac{c + c_1}{2}$$

где  $A$ ,  $C$  — величины верхнего зазора, мм. Эти зазоры должны быть одинаковы. Допустимая разность зазоров  $A$  и  $C$  составляет: 0,04 мм для вкладышей валов диаметром до 150 мм; 0,06 мм для вкладышей валов диаметром от 150 до 250 мм.

Зазор между верхним вкладышем и шейкой вала должен быть равен 0,001—0,002 диаметра шейки вала. Боковой зазор должен составлять 0,7—0,9 верхнего зазора.

Положение шейки вала проверяется контрольной скобой. При этом скоба (рис. 6.28) устанавливается на одно и то же место разбега. Изменение величины зазора между скобой и валом ( $x$ ) при настоящем и предыдущем ремонтах дает степень износа баббитового слоя подшипника и просадку шейки вала ротора.

Натяг между вкладышем и крышкой подшипника проверяется с помощью штихмасса и микрометра либо по свинцовым оттискам (см. рис. 6.27). Величина натяга определяется по формулам: сечение I

$$A = \frac{a + a_1}{2} - b$$

сечение II

$$C = \frac{c + c_1}{2} - b_1$$

где  $A$ ,  $C$  — натяги с соответствующей стороны вкладыша, мм. Величина натяга должна составлять 0,03—0,06 мм.

При обнаружении неустраняемых дефектов в виде выкрашивания, отставания баббитового слоя, увеличенных зазоров вкладыши нужно перезаливать или заменить новыми.

Упорный или опорно-упорный подшипник, воспринимающий осевое давление от ротора и фиксирующий его положение относительно неподвижных деталей проточной части и лабиринтных уплотнений, может выходить из строя вследствие аварийной вибрации, повышения осевого давления и недостаточной смазки.

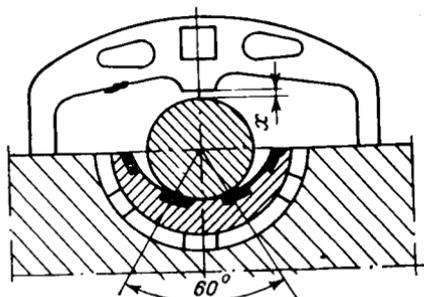
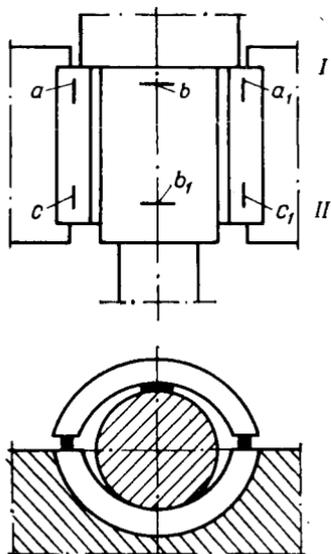


Рис. 6.27. Расположение свинцовых проволок при проверке верхнего зазора во вкладышах:

$a$ ,  $a_1$ ,  $b$ ,  $b_1$ ,  $c$ ,  $c_1$  — толщины свинцовых проволок;  
I, II — сечения шейки вала.

Рис. 6.28. Скоба для проверки износа баббитового слоя нижнего вкладыша.

При осмотре таких подшипников следует проверить: 1) величину разбега ротора; 2) состояние рабочих и установочных колодок; 3) качество приработки рабочих колодок; 4) состояние опорного вкладыша и величину натяга крышки комбинированного подшипника; 5) плотность прилегания опорных поверхностей узла к корпусу подшипника и его крышке.

Осовой разбег в упорном подшипнике равен 0,25—0,35 мм. Предельно допустимая величина не должна превышать 0,45 мм.

Устранение разбега ротора осуществляется изменением толщины установочных колодок или протачиванием баббитового слоя рабочих колодок. Поверхность колодок не должна иметь рисок, трещин и выкрашиваний. Баббитовый слой должен плотно прилегать к телу колодки. Со стороны входа масла каждая колодка может иметь небольшой радиус закругления на кромке.

**Л а б и р и н т н ы е у п л о т н е н и я.** При ремонте турбокомпрессора проверяется состояние лабиринтных уплотнений, а также радиальных и осевых зазоров. Уплотнения очищаются от отложений и промываются. Выкрошившиеся гребни заменяются новыми. Смятые гребни выправляются и заостряются. Гребни с ослабленной посадкой уплотняются в пазах в зависимости от способа крепления.

Размеры осевых зазоров регулируются изменением толщины дистанционных прокладок упорного подшипника. Проверяются осевые зазоры между дисками рабочих колес и неподвижными элементами корпуса. После центровки ротора проводится окончательная проверка зазоров в лабиринтных уплотнениях.

**К о р п у с.** При работе корпус турбокомпрессора испытывает сложные напряжения в результате вибрации, температурных деформаций, колебаний внутреннего давления газа и т. п. При этом возможно появление трещин, коробление, коррозия и эрозия. После остановки компрессора на ремонт проводится очистка корпуса от загрязнений, а затем проверка состояния корпуса, опор и плоскости горизонтального разъема.

Незначительные трещины, не влияющие на прочность корпуса, засверливаются по концам, отверстия засверловки глушатся гужонами, а сами трещины уплотняются накладками на мастике.

**Д и а ф р а г м ы.** При осмотре диафрагм (обратных направляющих аппаратов и диффузоров) встречаются следующие неисправности: задиры от задевания ротором, коррозия и эрозия, ослабление крепления в корпусе, повреждение лопатки от попадания постороннего предмета. Повреждения лопаток в виде загибов, вмятин и поломок устраняются различными способами в зависимости от конструкции и материала. Задир зачищаются. Загибы и вмятины выправляются с помощью оправок, изготовленных по профилю канала.

При установке новых диафрагм проверяются температурные зазоры, а также совпадение разъемов диафрагм и корпуса. Далее осуществляется центровка диафрагм относительно ротора.

**Ремонт центробежных насосов.** В объем ремонтных работ входят следующие мероприятия.

При профилактическом осмотре: 1) проверка осевого разбега ротора; 2) очистка и промывка картеров подшипников, смена масла, промывка масляных трубопроводов; 3) ревизия сальниковой набивки и проверка состояния защитных гильз; 4) проверка состояния полумуфт, промывка и смена смазки.

При текущем ремонте: 1) полная разборка с проверкой зазоров в уплотнениях ротора в корпусе насоса, проверка биения ротора; 2) ревизия и замена деталей торцевых уплотнений.

При капитальном ремонте: 1) ревизия всех сборочных единиц и деталей; 2) замена рабочих колес, валов, уплотняющих колец корпуса, грундбукс, распорных втулок.

Ремонт насосов проводится по типовому технологическому процессу, схема которого приведена ниже:



Перед отправлением в ремонт насос подвергается наружному осмотру и контролю. Проверяется наружное состояние насоса, его комплектность и проводятся следующие замеры, оформляемые актом: 1) смещение положения ротора в корпусе насоса в радиальном направлении; 2) осевой разбег ротора; 3) несовпадение осей насоса и привода в радиальном направлении.

Насосы сдаются в ремонт в собранном виде, полностью укомплектованные деталями вне зависимости от степени их износа.

При отсутствии базовых деталей или при наличии сквозных трещин в стенках корпуса или днища насос списывается. Допускается восстановление таких насосов по разовой калькуляции.

**Разборка насоса.** После наружной промывки насос разбирается в такой последовательности: 1) выпрессовываются полумуфты, вынимается шпонка, предварительно открепляется и снимается шайба; 2) открепляется и снимается кронштейн; 3) отворачиваются гайки, крепящие корпус насоса к крышке, снимается крышка вместе с корпусом подшипника, ротором и другими деталями; 4) снимается рабочее колесо (для двухступенчатых насосов после снятия диафрагмы с прокладкой снимается второе рабочее колесо); 5) снимаются крышка насоса, втулка сальника, фонарь сальника, грундбукса и другие детали торцового уплотнения; 6) вынимается защитная гильза; 7) снимаются крышки подшипника с прокладками и втулками; 8) из корпуса подшипника вынимается ротор, который затем разбирается.

**Промывка и очистка деталей.** Перед дефектацией детали очищаются от загрязнения, промываются, обезжириваются и высушиваются. Детали, покрытые тяжелыми маслянистыми отложениями (детали проточной части насоса), подвергаются промывке в ванне с 8—10% раствором каустической соды при 100 °С в течение 30—40 мин. Детали с довольно сильной коррозией подвергаются травлению согласно инструкции по их химической очистке.

Промытые и очищенные детали помещаются на 10—15 мин в водный раствор пассиватора для предохранения от коррозии. После пассивирования (раствор содержит 20 г/л воды каустической соды и 50 г/л воды хромпика) детали просушиваются при нормальной температуре. Срок хранения деталей, обработанных пассиватором, составляет 5—10 суток.

**Технические требования на дефектацию и ремонт.** Дефектация деталей осуществляется на специальном рабочем месте, оснащенном картами дефектации и необходимым комплектом приборов и измерительных инструментов.

Карты дефектации (дефектные ведомости) являются основным техническим документом, на основании которого проводятся осмотр, измерение, а при необходимости испытание деталей и сопряжений с последующей сортировкой их на три группы: 1) детали, годные в сопряжении с новыми деталями; 2) детали, подле-

жащие ремонту; 3) детали, непригодные для дальнейшего использования.

Контроль подшипников качения включает осмотр, проверку на шум и легкость вращения, измерение осевого и радиального зазоров, измерение размеров колец. Диаметры колец измеряются только в случае сдвига обойм на валу или корпусе, а также при наличии следов коррозии, ожогов и появлении черноты.

В подшипниках качения не допускаются: 1) трещины или выкрашивание металла на кольцах и телах качения, цвета побежалости в любом месте подшипника; 2) выбоины и отпечатки (лунки) на беговых дорожках колец; 3) шелушение металла, чешуйчатые отслоения; 4) коррозионные раковины, забоины, риски и вмятины на поверхности качения, видимые невооруженным глазом; 5) надломы, сквозные трещины на сепараторе, отсутствие или ослабление заклепок сепаратора; 6) забоины и вмятины на сепараторе, препятствующие плавному вращению подшипника; 7) заметная на глаз и на ощупь ступенчатая выработка рабочей поверхности колец; 8) осевой зазор более 0,08 мм и радиальный зазор более 0,1 мм; 9) при проверке на легкость вращения — резкий металлический или дребезжащий звук, а также заметное притормаживание и заедание.

Пружинные шайбы не должны иметь трещин или надрывов. Бывшие в употреблении пружинные шайбы используются повторно, если они не потеряли упругости. При этом нормальный развод шайбы должен быть равен ее толщине.

Большинство насосов химических производств перекачивают коррозионно-активные продукты. В связи с этим стенки корпуса значительно изнашиваются.

При отношении толщины стенки корпуса к его диаметру  $\geq 10$  отбраковочный размер стенки  $\delta_0$  (в мм) определяется по формуле:

$$\delta_0 = 1,9 \frac{PD}{\sigma_{пр}}$$

где  $P$  — рабочее давление в насосе, МПа;  $D$  — внутренний диаметр корпуса насоса, мм;  $\sigma_{пр}$  — предельное напряжение, зависящее от температуры и материала корпуса, МПа.

Если же это отношение меньше или равно 10, то отбраковочный размер стенки корпуса насоса рассчитывают по формуле:

$$\delta_0 = \frac{D}{2} \left( \sqrt{\frac{4\sigma_{пр} + 3P}{4\sigma_{пр} - 5P}} - 1 \right)$$

При осмотре корпуса особое внимание следует обращать на состояние посадочных мест под диафрагму и грундбуксу, уплотняющих колец корпуса и полости разъема, износ внутренней полости, состояние уплотняющих поверхностей секций, посадочных мест под продольные шпонки, центрирующих штифтов, величины зазоров между уплотняющими кольцами секций и колес.

Износ отдельных мест внутренней полости корпуса должен быть устранен наплавкой металла с помощью электросварки. Риски, забоины и вмятины на плоскостях разъема корпуса устраняются зачисткой шабером или заваркой. Значительно изношенные привалочные поверхности протачиваются или фрезеруются. Можно также осуществлять расточку изношенных мест и запрессовку втулок с последующей расточкой до номинальных размеров.

При вращении роторов в корпусе насоса возможен износ шеек и резьбы, искривление или поломка вала. Искривление валов происходит в результате выхода из строя подшипников или ударов частей ротора о неподвижные детали насоса.

Износ шеек валов может происходить из-за появления рисок, задиrow, коррозионных каверн и по другим причинам с последующим выходом из строя подшипников качения или скольжения.

Как правило, поломка вала наблюдается в местах перехода вала с диаметра посадочного места под защитную гильзу на диаметр шейки вала. Поломка происходит в результате концентрации местных напряжений.

Восстановление изношенных шеек вала в зависимости от степени износа осуществляется следующими способами: до 0,3 мм — электролитическим хромированием; от 1,5 до 2,0 мм — электролитическим железнением; от 2,0 до 3,0 мм — автоматической вибродуговой наплавкой; от 3,0 до 4,0 мм — ручной газовой наплавкой; свыше 4,0 мм — ручной электродуговой наплавкой.

Нарушенная резьба на валу восстанавливается резцом. Если повреждения значительны, то этот участок вала протачивается до основания резьбы, а затем наплавляется, обрабатывается и на нем нарезается новая резьба.

Рабочие колеса выходят из строя вследствие коррозионного и эрозионного износа, сильного осевого сдвига ротора в результате неправильной сборки насоса или разрушения радиально-упорных подшипников, попадания в насос посторонних предметов.

При ремонте колеса восстанавливаются наплавкой поврежденных мест с последующей проточкой. Для некоторых конструкций возможна замена поврежденного диска. В этом случае неисправный диск срезается, а вместо него с помощью электрозаклепок приваривается новый диск.

Чугунные колеса заменяются новыми или наплавляются медным электродом с последующей проточкой.

**Торцовые уплотнения.** К быстроизнашивающимся деталям торцовых уплотнений относятся пара трения, пружины, уплотнительные кольца из резины или фторопласта. Износ пары трения проявляется в повышенной утечке агента. Если она обусловлена задиром трущихся поверхностей, то возможна притирка пары трения. При необходимости пара трения заменяется. В комплекте запасных частей к торцовому уплотнению имеются все быстроизнашивающиеся детали. Одно из колец пары трения может быть изготовлено из следующих материалов: угляграфита

2П-1000, пропитанного фенолоформальдегидной смолой, силицированного графита ПГ-50С, фторопласта-4 и композиции на основе фторопласта и кокса — ФКМ-105 и 4К-20.

Второе кольцо обычно изготавливается из металла.

Торцовые уплотнения выходят из строя из-за износа пар трения и коррозии. Ремонт торцового уплотнения заключается в изготовлении и замене вышедших из строя деталей. Для возможности изготовления при ремонте колец трения поставляются углеграфитовые заготовки в форме цилиндров определенных размеров, из которых кольца вытачиваются на токарном станке. Углеграфитовые заготовки поставляются пропитанными или непропитанными. Пористость углеграфита доходит до 30%. Графит, предназначенный для торцовых уплотнений, без пропитки клеящим составом непригоден для изготовления графитовых колец торцовых уплотнений. Пропитка обработанных колец осуществляется эпоксидным клеем холодного отверждения следующего состава (по массе): эпоксидная смола — 100 частей; дибутилфталат — 10 частей; полиэтиленполиамин — 10 частей.

Пропитка проводится в специальном приспособлении (рис. 6.29), в котором на пропитывающий состав после его заливки создается давление 0,5—0,6 МПа с помощью сжатого воздуха. Продолжительность пропитки — 15—20 мин. После пропитки эпоксидный состав полимеризуется при комнатной температуре в течение 24 ч или в термошкафу при 50 °С в течение 3 ч.

Пропитка может осуществляться также компаундом, состоящим (по массе) из 10 частей эпоксидной смолы ЭД-6, 2 частей дибутилфталата, 1 части полиэтиленполиамины и 15 частей толуола, добавляемого для увеличения глубины пропитки. Глубина пропитки увеличивается также при применении вакуума. Заготовки колец после промывки в ацетоне и сушки закладываются в контейнер с компаундом, а контейнер устанавливается в камеру низкого давления, где при давлении 0,015 МПа заготовки выдерживаются 1,5 ч.

После шлифовки доводка рабочих поверхностей пар трения осуществляется на плите-притире. Испытание собранного уплотнения может выполняться с использованием сверлильного станка, шпиндель которого служит для вращения одного из колец. Обкатка без давления проводится в течение 1 ч, затем при вращении одного из колец создается давление от баллона сжатого воздуха. Падение давления, которое контролируется по манометру, не должно превышать 0,05 МПа в 1 ч.

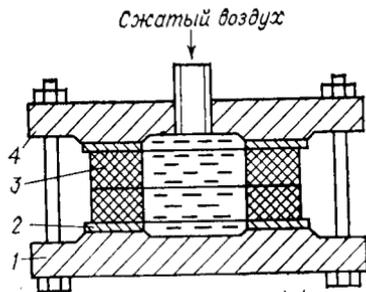


Рис. 6.29. Приспособление для пропитки углеграфитовых колец:

1, 4 — фланцы; 2 — прокладка; 3 — кольцо.

Чрезмерный нагрев уплотнения может быть вызван выходом из строя системы охлаждения и циркуляции и работой уплотнения в условиях отсутствия смазки. При ремонте система охлаждения должна быть прочищена.

Поломанные пружины заменяются. Уплотнительные резиновые кольца при эксплуатации теряют эластические свойства или набухают. Поэтому при проведении ремонта насоса их следует заменить.

Разборка-сборка торцовых уплотнений проводится квалифицированными рабочими, имеющими опыт ремонта сложных машин. Это связано с тем, что ремонт торцовых уплотнений является ответственной операцией. Детали торцового уплотнения требуют бережного обращения. Перед сборкой они должны быть тщательно очищены и промыты в керосине.

Испытания и прием насоса из ремонта. После внешнего осмотра и установки насоса на испытательном стенде проводится его испытание, которое включает в себя следующие этапы: 1) кратковременный пуск; 2) прогрев насоса; 3) испытание на рабочем режиме.

Кратковременный пуск (до 3 мин) насоса осуществляется при закрытой задвижке на напорном трубопроводе. При этом проверяются: 1) направление вращения ротора; 2) показания приборов; 3) смазка подшипников.

Насосы, предназначенные для перекачки горячих продуктов, прогреваются. Во избежание теплового удара при циркуляции жидкости нагрев должен быть постепенным.

Испытание насоса на рабочем режиме проводится в такой последовательности: 1) пуск электродвигателя; 2) после достижения полной частоты вращения задвижка открывается на  $\frac{1}{3}$ ; 3) обкатка насоса на рабочем режиме в течение 2 ч.

**Ремонт шестеренчатых насосов.** Шестеренчатые насосы используются в технологическом процессе для перекачки высоковязких жидкостей, а в системах смазки оборудования — для подачи масла. Поэтому конструктивно насосы могут иметь некоторые особенности. Общим для всех этих насосов является наличие корпуса крышки и двух шестерен. Шестерни посажены на валики, один из которых подсоединяется к электродвигателю и является приводным, а второй валик и, соответственно, вторая шестерня — ведомые. Валики опираются на втулки скольжения, установленные в отверстиях корпуса и крышки.

У шестеренчатых насосов изнашиваются корпус, крышка, шестерни, втулки и резиновые уплотнения. Разборка насоса осуществляется в следующем порядке. Выворачиваются шпильки, крепящие крышку к корпусу, и снимается крышка. Крышка снимается с помощью двух клиньев, которые острiem устанавливаются в место соприкосновения крышки с корпусом с двух противоположных сторон. Сближение клиньев с выпрессовкой крышки осуществляется с помощью винтовой или гидравлической системы.

Затем вынимаются шестерни, а также втулки, которые устанавливаются в корпус и крышку на скользящей посадке.

После мойки проводится дефектация деталей. Местами износа в шестеренчатом насосе являются поверхности соприкосновения: зубьев шестерен с корпусом, торцовых поверхностей шестерен с корпусом, валиков с втулками и втулок с гнездами корпуса и крышки. Измерения при дефектации осуществляются с помощью нутромера с индикатором часового типа и штангенглубиномера.

Шестерни шестеренных насосов изготавливаются из легированной стали, зубья шестерен подвергаются цементации на глубину 0,9—1,5 мм и закалке до твердости HRC 58—62. При работе шестерни изнашиваются по наружному диаметру зубьев и линии зацепления зубьев, по торцовым поверхностям, по цапфам. Ведущая шестерня испытывает большие нагрузки, чем ведомая, поэтому и износ ее больше, чем ведомой шестерни.

Втулки, выполняющие роль подшипников скольжения для валиков или цапф шестерен, подвергаются износу по наружному и внутреннему диаметру и по торцовой поверхности, соприкасающейся с шестерней. Наибольший износ цилиндрических поверхностей имеет место на дуге 100—120° со стороны всасывания.

Корпус насоса проверяется на исправность резьб, отсутствие трещин. У корпуса насоса сильнее изнашивается стенка со стороны камеры всасывания. Износ корпуса приводит к нарушению соосности деталей насоса. Шестерни и втулки начинают работать с перекосом, вследствие чего их торцовые поверхности интенсивно изнашиваются. Одним из способов восстановления корпуса является изменение рабочей позиции (смена мест полости всасывания и нагнетания) для использования неизношенной поверхности. При этом способе необходимо рассверлить выходное отверстие корпуса, которое теперь становится входным, а также заделать канал на дне кольца, соединяющий камеры втулок ведомой и ведущей шестерен, и изготовить новый дренажный канал на дне колодца корпуса со стороны бывшей камеры нагнетания.

При ремонте корпуса методом гильзовки его колодцы фрезеруются для выведения износа. Гильза, отлитая из алюминиевого сплава в кокиле, обрабатывается и запрессовывается в корпус насоса. Перед запрессовкой гильзы на ее наружную поверхность и боковые поверхности колодцев корпуса наносится тонкий слой эпоксидного состава. После выдержки корпуса в печи при температуре 120 °С в течение 2 ч гильза обрабатывается.

Подготовка корпуса к нанесению эпоксидной композиции заключается в следующем. Сначала корпус промывается. Поверхность колодцев корпуса зачищается до металлического блеска. Для зачистки поверхности применяется шлифовальная шкурка. Зачищенная поверхность тщательно обезжиривается ацетоном. Качество подготовленной поверхности проверяется каплей воды (при удовлетворительной подготовке поверхности вода должна расплываться).

После подготовки корпуса приготавливается композиция (непосредственно перед ее применением). Предварительно тара с эпоксидной смолой ЭД-16 помещается в какую-либо посуду с водой и нагревается до 60—80 °С. Вязкость смолы при этом значительно снижается, что облегчает отбор определенного количества (обычно 100 г). Затем смола охлаждается до 30—40 °С и при тщательном перемешивании в течение 5 мин в нее вводится по частям пластификатор (дибутилфталат). В полученную смесь также по частям при тщательном перемешивании добавляется наполнитель (алюминиевый порошок, который предварительно должен быть высушен при 100—120 °С в течение 2 ч). Далее вводится отвердитель (полиэтиленполиамин, который предварительно выдерживается при 105—110 °С в течение 3 ч для удаления из него низкокипящих компонентов). Полиэтиленполиамин в приготовленную смесь из эпоксидной смолы, пластификатора и наполнителя добавляется небольшими частями при тщательном перемешивании, так как его введение вызывает повышение температуры смеси. Поэтому необходимо следить, чтобы температура композиции не превышала 30—40 °С.

После добавления полиэтилениполиамиона готовая смесь при нормальной температуре пригодна к применению в течение 20—30 мин. По истечении этого срока смесь быстро густеет и снижаются ее клеящие свойства. Состав композиции (по массе): смола — 100 частей; дибутилфталат — 10 частей; алюминиевый порошок — 20 частей; полиэтилениполиамин — 7 частей.

При изготовлении смеси должна точно соблюдаться дозировка каждого из компонентов (особенно отвердителя). Приготавливать состав желательно в плоских металлических сосудах. Толщина слоя смолы в сосуде не должна превышать 10 мм. Вместо алюминиевого порошка можно использовать порошок бронзы.

Нанесение состава с последующим отверждением заключается в следующем. Перед нанесением состава зачищенная поверхность еще раз обезжиривается ацетоном. После этого шпателем наносится тонкий слой (1—1,2 мм) композиции.

После окончания нанесения смеси должна отвердеть. Время отверждения состава с полиэтилениполиамином различно и зависит от температуры. Обычно, если нет специальной печи, отверждение проводится при 20 °С в течение не менее 3 суток. Более высококачественное покрытие корпуса получается при отверждении в печи при 100 °С в течение 2 ч. После очистки покрытой поверхности от подтеков и излишков состава растачиваются колодцы под номинальный размер.

Увеличенная глубина колодцев — второй крупный дефект корпуса. Уменьшить глубину колодцев можно: 1) заливкой баббита на дно колодцев с соблюдением всех подготовительных операций с последующим фрезерованием слоя баббита торцевой фрезой; 2) заливкой эпоксидной композиции на дно колодцев; 3) фрезерованием привалочной плоскости соединения корпуса с крышкой.

Крышка пришабривается к корпусу. При этом металл снимается с тела крышки. Снимать металл с тела корпуса не рекомендуется. Шабрение считается удовлетворительным, если на  $1 \text{ см}^2$  приходится 2—4 пятна следов краски.

У шестерен изнашиваются цапфы и торцовые поверхности зубьев. Шестерни со значительным износом должны выбраковываться. При износе в пределах термообработанного слоя шестерни восстанавливаются на ремонтные размеры шлифовкой. Сначала шлифуются цапфы и зубья по наружному диаметру, а затем в специальном приспособлении на заточном станке — торцовые поверхности шестерен.

Втулки при износе внутренней поверхности выбраковываются. При износе наружной поверхности втулки восстанавливаются осадкой в корпусе или в крышке. Уменьшение высоты втулки при осадке компенсируется напрессовкой шайбы из алюминия, бронзы. Можно восстанавливать втулки наплавкой баббитового или латунного слоя. Смятая поверхность лыски наплавляется баббитом. Используется также восстановление размеров втулок нанесением эпоксидной композиции.

Перед сборкой детали насоса промываются в дизельном топливе, продуваются сжатым воздухом и смазываются дизельным маслом. Шестерня с валиками устанавливается во втулки (подшипники) корпуса. При этом должно обеспечиваться свободное проворачивание шеек валов. Радиальные зазоры между шейками валов и втулками должны быть в пределах до 0,1 мм. Прилегание зубьев проверяется по краске, разведенной керосином. Краска наносится тонкими слоями только на зубья ведущей шестерни.

Крышка устанавливается с прокладкой из плотной промасленной чертежной бумаги. Сальниковое уплотнение набивается просаленной пенькой. На ведущий вал насаживается полумуфта. Насос опробуется вручную. Повертыванием ведущей шестерни проверяется легкость хода и отсутствие задеваний торцов шестерен о корпус. После присоединения электродвигателя насос испытывается на стенде на производительность и максимальное давление. Схема стенда для испытания насоса изображена на рис. 6.30. При установке на стенд насос закрепляется прихватами и к нему присоединяются шланги. При пуске электродвигателя жидкость из емкости через механический фильтр поступает в насос, а из него через обратный клапан и ротаметр сливается обратно в емкость. По манометру контролируется

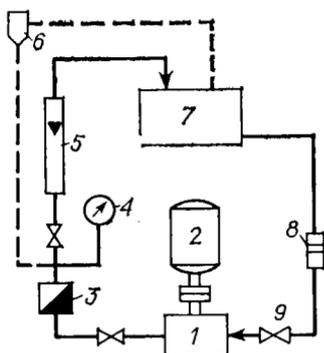


Рис. 6.30. Схема настольного стенда для испытания шестеренчатого насоса:

- 1 — насос; 2 — электродвигатель; 3 — обратный клапан; 4 — манометр; 5 — ротаметр; 6 — предохранительный клапан; 7 — емкость; 8 — фильтр; 9 — запорный вентиль.

рабочее давление на линии нагнетания, а по ротаметру определяется производительность насоса и сравнивается с паспортной. В случае повышения давления на линии нагнетания выше допустимого часть жидкости перепускается через предохранительный клапан в емкость.

## 6.5. РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ

**Ремонт трубопроводов.** В процессе эксплуатации трубопроводы изнашиваются от механического (в основном эрозионного), теплового и коррозионного воздействия. При ремонте выполняются следующие основные работы: 1) замена износившихся деталей и узлов или исправление их до соответствующих норм, допусков и размеров; 2) выверка трубопроводов, а в случае необходимости подгонка опор и подвесок; 3) модернизация или реконструкция трубопроводов с возможной унификацией сменных частей; 4) изоляция трубопроводов; 5) испытание на прочность и плотность; 6) окраска трубопроводов.

За 2—3 ч до разборки фланцевых соединений трубопроводов резьбовую часть крепежных деталей необходимо смочить керосином. Отворачивание гаек проводится в два приема: сначала все гайки ослабляются поворотом на  $\frac{1}{8}$  оборота, затем отворачиваются полностью в любой последовательности. При разборке трубопроводов с целью замены прокладок весьма трудоемка раздвижка фланцев. Винтовое приспособление для раздвижки фланцев показано на рис. 6.31. Для раздвижки фланцев на трубопроводах высокого давления используется приспособление с гидроцилиндром (рис. 6.32). При подготовке к работе цепи заводятся за трубопровод, а клин вставляется между фланцами. Насосом масло нагнетается под поршень, и фланцы раздвигаются. Все приспособления для раздвижки фланцев напоминают съемники для выпрессовки деталей с валов.

Приспособление, изображенное на рис. 6.33, состоит из съемных хомутов. К одной половине хомута привариваются гайки, вторая половина присоединяется к первой и крепится на трубе болтами. Хомуты соединяются винтами, имеющими с одной сто-

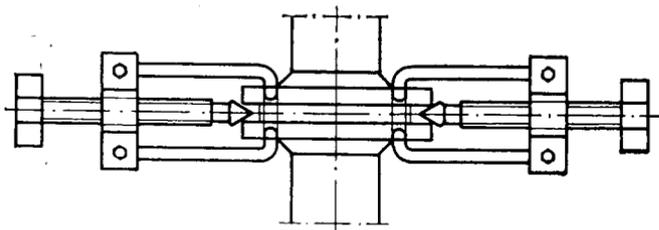


Рис. 6.31. Винтовое приспособление для раздвижки фланцев.

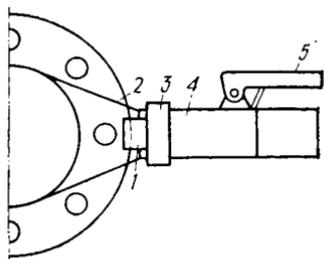


Рис. 6.32. Гидравлическое приспособление для раздвижки фланцев:  
1 — клин; 2 — цепь; 3 — съемная головка; 4 — гидроцилиндр с масляным баком; 5 — рукоятка плунжерного насоса.

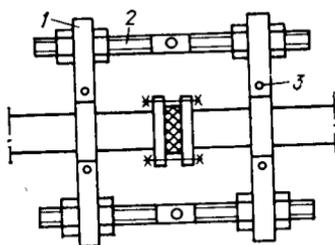


Рис. 6.33. Приспособление для замены прокладки:  
1 — хомут; 2 — винт; 3 — болт.

роны правую резьбу, а с другой — левую. При поочередном вращении винтов трубы раздвигаются.

Раздвижку фланцев можно осуществлять также следующим образом. В двух диаметрально противоположных отверстиях фланца нарезается резьба. В эти отверстия вворачиваются болты, а в зазор между фланцами вставляются металлические пластинки для упора болтов. При поочередном заворачивании болтов фланцы разжимаются.

Разъединитель фланцев, особенно удобный в стесненных условиях, в качестве основного элемента имеет круговой клин кулачковой формы. При вращении клина ключом, одеваемым на четырехгранник оси, фланцы разъединяются. Пальцы захватные предварительно заводятся в отверстия фланцев (рис. 6.34).

Для вырезки прокладок применяются разнообразные приспособления. Вариант простейшего из них показан на рис. 6.35. Конус 1 имеет сквозные отверстия, в которых стопорными болтами крепятся четырехгранные ножи 2. Приспособление вставляется в патрон сверлильного станка.

При ремонте технологических трубопроводов изношенные участки заменяются новыми, дефектные сварные стыки удаляются, а вместо их ввариваются катушки. Перед удалением участка трубопровода необходимо закрепить разделяемые участки так, чтобы предупредить их смещение. Участок, подлежащий удалению, крепится в двух местах.

После демонтажа участка трубопровода свободные концы оставшихся труб необходимо закрыть пробками или заглушками. При установке нового участка его сначала укрепляют на опорах, а затем сваривают.

Сборка коллектора состоит из соединения отдельных участков, блоков (плетей), деталей и крепления его к

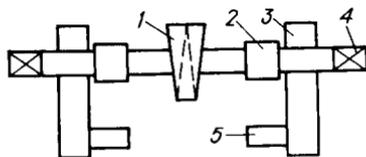


Рис. 6.34. Клиновой разъединитель фланцев:

1 — круговой клин; 2 — опорные ролики; 3 — плечо; 4 — четырехгранник; 5 — палец.

опорам и подвескам. Отдельные узлы перед сборкой располагаются в цехе между аппаратами, насосами, арматурой. Сначала сборка выполняется «начерно», т. е. свариваемые детали соединяются прихваткой, фланцевые соединения собираются на монтажных болтах. После такой сборки и выверки горизонтальных и вертикальных участков осуществляется окончательная сварка стыков, а во фланцевых соединениях монтажные болты заменяются шпильками или постоянными болтами с окончательной их затяжкой. После этого трубопровод закрепляется на опорах.

Подъем и укладка узлов и деталей трубопроводов проводятся с помощью стационарных или передвижных грузоподъемных устройств. При сборке отдельных участков трубопроводов передача их веса на насосы и компрессоры должна быть исключена.

На вертикальных аппаратах заменяемые узлы и детали трубопроводов закрепляются стропами в двух местах для их подвешивания.

При подсоединении к другим узлам перестроповка исключается. Поднятый узел или деталь при помощи оправки подгоняется к присоединительному фланцу, а затем устанавливается прокладка и закрепляются все шпильки и болты. После проведения указанных операций стропы снимаются. Если новый узел трубопровода присоединяется на сварке, то стропы снимаются после приварки его первым швом.

При ремонте фланцевых соединений зеркало фланца, находившегося в эксплуатации, очищается от старой прокладки, следов коррозии и т. д.

Приспособление для контроля приварки нового фланца к трубопроводу изображено на рис. 6.36.

При ремонте межцеховых трубопроводов замена изношенных участков надземных трубопроводов может выполняться потрубно. Возможна также сборка участков из секций, которые собирают и сва-

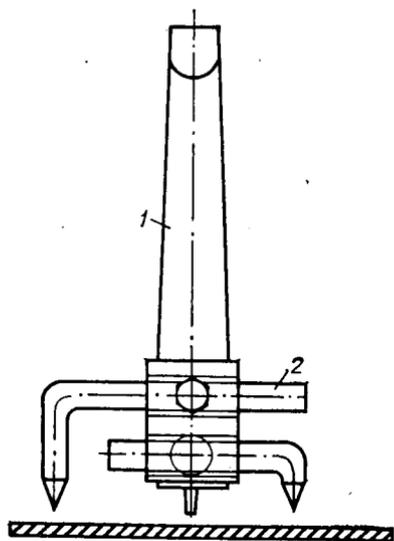


Рис. 6.35. Приспособление для вырезки прокладок:  
1 — конус; 2 — нож.

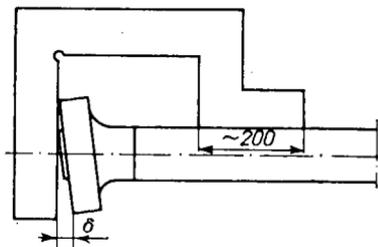


Рис. 6.36. Проверка перпендикулярности уплотнительной поверхности фланца к оси трубы.

ривают из отдельных труб и их элементов вблизи трассы или в трубозаготовительной мастерской.

В условиях эстакад, насыщенных большим количеством трубопроводов, ремонт становится более сложным. В этом случае замена изношенных участков или прокладка дополнительных линий возможна лишь отдельными трубами небольшой длины. Трубы поднимаются краном или лебедкой и через верх или бок эстакады заводятся на место. Сборка ведется в направлении, противоположном уклону трубопровода. При укладке трубопроводов на эстакадах, в каналах или лотках окончательное закрепление начинают с неподвижных опор.

При замене участков трубопроводов, работающих при высокой температуре, а также при прокладке дополнительных линий проводится растяжка компенсаторов температурных удлинений. Величину растяжки можно определить по формуле:

$$l = \alpha t L$$

где  $l$  — удлинение трубопровода;  $\alpha$  — коэффициент линейного удлинения;  $L$  — длина трубопровода.

При такой растяжке компенсатор примет первоначальное положение и при эксплуатации трубопровода не будет испытывать напряжений. Растяжка компенсаторов осуществляется с помощью специальных приспособлений (рис. 6.37), вместе с которыми компенсатор монтируется. После закрепления концов трубопровода на неподвижных опорах приспособление удаляется.

Холодный натяг трубопроводов выполняется с помощью приспособления, изображенного на рис. 6.38. В оставленный зазор вставляется временное кольцо 3 из трубы того же диаметра. Кольцо зажимается хомутами 1 и шпильками 2. С целью предупреждения соскальзывания хомутов по окружности трубы делаются наплавки или привариваются накладки. После установки компенсатора на место и завершения сварки всех стыков, кроме стыка, в котором будет проводиться натяг, кольцо удаляется. Далее с помощью шпилек стягиваются концы труб до требуемого зазора, после чего этот стык сваривается.

Линзовые компенсаторы устанавливаются на трубопроводах, имеющих продольное и поперечное перемещения. Для предотвращения разрыва линз при сдвиге трубопровода в поперечном направлении на компенсаторах ставятся стяжки (рис. 6.39).

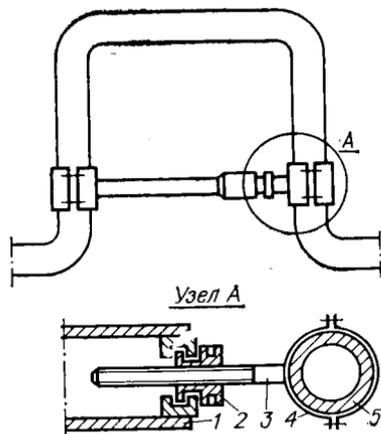


Рис. 6.37. Винтовое приспособление для растяжки компенсаторов:

1 — распорка; 2 — натяжная гайка; 3 — винт; 4 — хомут; 5 — труба.

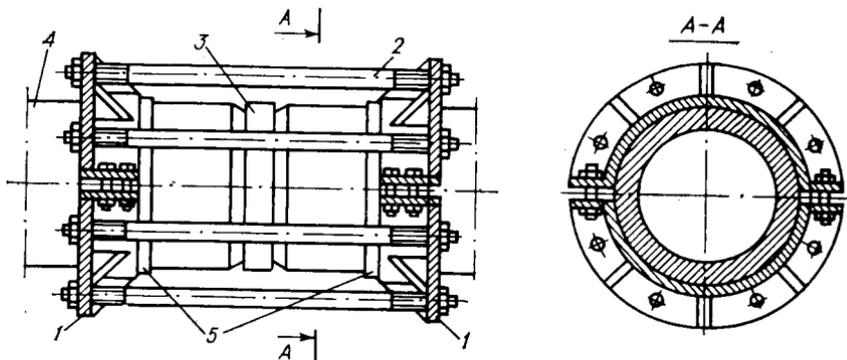


Рис. 6.38. Стяжное приспособление для холодного натяга трубопровода:

1 — хомут; 2 — стяжные шпильки; 3 — вставное кольцо; 4 — трубопровод; 5 — круглые накладки на трубопроводе.

Линзовые компенсаторы растягиваются на половину их компенсирующей способности.

При ремонте трубопроводов, уложенных в грунт, выполняются следующие основные работы: 1) вскрытие засыпанных траншей; 2) подъем этих участков на поверхность; 3) очистка наружной поверхности от следов коррозии и остатков старой антикоррозионной изоляции; 4) замена изношенных участков трубопроводов новыми; 5) наложение новой изоляции; 6) укладка трубопровода в траншею. При наличии мелких повреждений (трещины, раковины, потения и т. д.) трубопровод из работы не выключается. При нетоксичных продуктах ремонт осуществляется наваркой заплат. Разрывы стыков и крупные трещины временно изолируются наложением хомутов. После

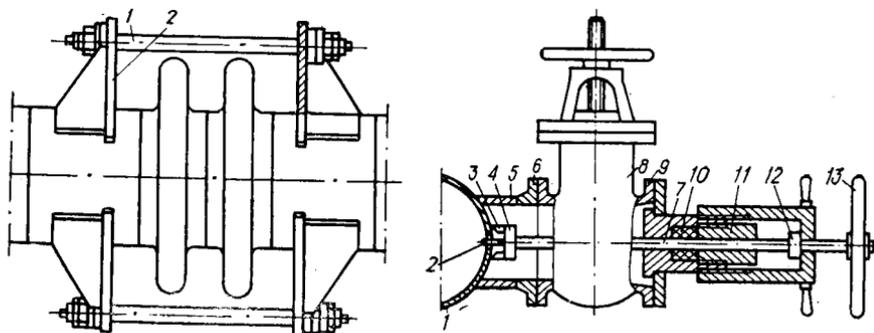


Рис. 6.39. Линзовые компенсаторы со стяжками:

1 — тяга; 2 — лапа.

Рис. 6.40. Приспособление для врезки отвода в действующий трубопровод:

1 — трубопровод; 2 — сверло; 3 — резец; 4 — коронка; 5 — патрубок; 6, 9 — фланцы; 7 — шток; 8 — задвижка; 10 — сальник; 11 — грундбукса; 12 — упорный шарико-подшипник; 13 — штурвал.

освобождения трубопровода от продукта поврежденные места вырезаются и свариваются катушки.

Трубопроводы диаметром до 300 мм, уложенные на глубине не более 1,2 м, ремонтируются с подъемом и укладкой их над траншеей на лежаки. При диаметре более 300 мм ремонт осуществляется непосредственно в траншее с подъемом трубопроводов на высоту 60—70 см от дна траншеи с укладкой их на лежаки.

Основным видом ремонта подземных трубопроводов является замена изношенного участка новым. При этом способе извлеченный из траншеи трубопровод разрезается на отдельные части и увозится на ремонтную базу. Новая секция сваривается в коллектор. При подъеме и опускании трубопровода в траншею наиболее напряженные сварные стыки усиливают муфтами или планками. Для лучшего прилегания планок к трубопроводу в середине планок делается выгиб. При усилении муфтами их длина принимается равной 300 мм для труб диаметром 200—377 мм и 350 мм для труб диаметром 426—529 мм. Диаметр муфты принимается на 50 мм больше диаметра трубопровода. Толщина стенки муфты и трубопровода должна быть одинакова. Допускаемый зазор между муфтой и трубой составляет  $\delta = 2$  мм.

При ремонте иногда нужно подключиться к действующим трубопроводам соседних цехов. Такая необходимость возникает и при подключении нового аппарата к действующим цеховым трубопроводам. Подобные врезки чаще всего осуществляются в период остановочных ремонтов. Врезка в действующий трубопровод выполняется с использованием приспособления, представленного на рис. 6.40. К трубопроводу 1 в месте врезки подгоняется и приваривается патрубок 5 с фланцем 6. К этому фланцу на шпильках присоединяется задвижка 8 требуемой серии. К задвижке на фланце 9 крепится приспособление, состоящее из сверла 2 и коронки 4, на которой укреплены резцы 3, штока 7, сальника 10, грундбоксы 11, упорного шарикоподшипника 12 и штурвала 13. Вращением коронки 4 при помощи штурвала 13 в стенке основного трубопровода вырезается отверстие требуемого диаметра. После этого штск 7 с коронкой 4 поднимается выше клинкета задвижки и последняя закрывается. Затем с задвижки снимается приспособление и к отводящему патрубку присоединяется новый трубопровод.

После окончания капитального ремонта трубопроводов проводятся проверка качества работ, промывка или продувка, а затем испытание на прочность и плотность. Технологическая аппаратура перед испытанием отключается, концы трубопровода закрываются заглушками. Заглушаются все врезки для контрольно-измерительных приборов. В наиболее низких точках свариваются штуцеры с арматурой для спуска воды при гидравлическом испытании, а в наиболее высоких — воздушники для выпуска воздуха. В начальных и концевых точках трубопровода, а также на насосах

и компрессорах устанавливаются манометры с классом точности измерения не ниже 1,5.

Гидравлическое испытание на прочность и плотность обычно проводится до покрытия тепловой и антикоррозионной изоляцией. Величина испытательного давления должна быть равна 1,25 максимального рабочего давления, но не менее 0,2 МПа для стальных, чугунных, винипластовых и полиэтиленовых трубопроводов. Давление при испытании выдерживается 5 мин. После этого оно снижается до рабочего значения. Трубопровод тщательно осматривается. Сварные швы обстукиваются легким молотком. После проведения испытания открываются воздушки и трубопровод полностью освобождается от воды.

Пневматическое испытание осуществляется воздухом или инертным газом. При этом выдерживается давление, равное 1,25 максимального рабочего давления, но не менее 0,2 МПа для трубопроводов из стали.

Испытание на прочность чугунных и пластмассовых надземных трубопроводов не проводится. Пневматическое испытание трубопроводов на прочность не проводится также в действующих цехах, на эстакадах, в каналах, т. е. там, где находятся действующие трубопроводы. Газопроводы, работающие при давлении до 0,1 МПа испытывают давлением, которое устанавливается проектом.

При наличии чугунной арматуры пневматическое испытание трубопроводов на прочность проводится при давлении не выше 0,4 МПа.

**Ремонт трубопроводной арматуры и арматуры сосудов, работающих под давлением.** Ремонт трубопроводной арматуры может проводиться либо на месте ее установки без снятия корпуса, либо в механической мастерской.

При ремонте на месте установки из корпуса одновременно с крышкой вынимается механизм затвора. Ремонт деталей этого механизма выполняется в механической мастерской. При ремонте корпуса арматура демонтируется и доставляется в механическую мастерскую. Перед снятием арматуры делаются пометки на корпусах и стыкуемых фланцах.

Арматура и предохранительные клапана снимаются с колонн поворотными кран-укосинами и передвижными электрическими лебедками. При снятии арматуры с колонного блока хорошо зарекомендовали себя стационарные шахтные подъемники.

Подготовленная к ремонту арматура устанавливается на стенды и здесь разбирается и подвергается дефектации.

Наиболее распространенными причинами выхода арматуры из строя являются нарушения герметичности вследствие коррозии, забоин, вмятин от инородных тел на уплотняющих поверхностях, а также вследствие деформации корпуса задвижек под действием внешних нагрузок и температурных напряжений.

Ремонт арматуры осуществляется централизованно специализированными бригадами. Для механизации ремонта промышлен-

ностью выпускаются следующие приспособления: 1) стенды для разборки и сборки арматуры; 2) токарные приспособления для обработки уплотнительных поверхностей корпусов и клиньев клиновых задвижек; 3) станки для механической притирки; 4) стенды для испытания пружин предохранительных клапанов; 5) стенды для испытания на прочность и плотность клиновых задвижек; 6) стенды для испытания и регулировки предохранительных клапанов.

Виды ремонта и применяемые приспособления для задвижек, вентиля и предохранительных клапанов несколько отличаются друг от друга.

При ремонте задвижки проводятся следующие операции: 1) восстановление изношенных уплотнительных поверхностей затвора; 2) восстановление шпинделя и сопрягаемых с ним деталей; 3) замена сальникового уплотнения; 4) восстановление уплотнительных поверхностей фланцевых соединений; 5) восстановление корпуса; 6) гидравлическое испытание.

Разборка задвижки осуществляется в такой последовательности: 1) снимается маховик со шпинделя; 2) снимается крышка; разбираются детали затвора, вынутые с крышкой. Детали промываются в керосине и насухо вытираются.

Внутренняя плотность корпуса осматривается для выявления раковин, трещин и других дефектов. При этом применяется просвечивание рентгеновскими лучами и гамма-лучами, что позволяет выявить пустоты, шлаковые включения и мелкие трещины, невидимые при наружном осмотре.

Прочность корпуса проверяется гидравлическим испытанием. Несквозные дефектные места в корпусе разделяются на всю глубину до чистого металла. Перед разделкой трещины на их концах сверлятся отверстия диаметром 8—10 мм. Кромки, прилегающие к местам вырубki, зачищаются напильником и металлической щеткой. После протравливания 10% раствором азотной кислоты трещина заваривается электродуговой сваркой и обрабатывается термически.

При осмотре деталей затвора должна проверяться плотность запрессовки уплотнительного кольца (седла) в корпусе и чистота его поверхности. На наличие забоин, задилов, царапин и других повреждений проверяются клапан (диски, тарелки, золотники) шпиндель, втулка, полости сальниковой коробки, грундбукса и крепежные детали. Поврежденные детали восстанавливаются.

Различные раковины, каверны, задиры и другие повреждения уплотнительных поверхностей устраняются путем обточки, шлифовки и притирки на станке. На уплотнительной поверхности дефекты глубиной более 0,5 мм устраняются предварительной разделкой дефектного места и наплавкой на него металла с последующей обработкой. Если глубина повреждений менее 0,5 мм, то проводится шлифовка абразивным кругом и притирка. Неплотности между корпусом и седлом устраняются в зависимости от типа

крепления. Если седло закреплено в корпусе запрессовкой, то оно вытачивается из корпуса и заменяется новым седлом, которое приваривается к корпусу с предварительной разделкой места посадки. Если седло посажено на резьбе, то его вывинчивают с помощью специальных ключей и приспособлений. При наличии нормально сохранившейся резьбы ввертывается новое седло тем же приспособлением, но с бóльшим усилием затяжки. Если резьба под седло имеет значительный износ, то она растачивается на больший размер с одновременной расточкой фаски под сварку. На это место запрессовывается и приваривается новое кольцо.

Если кольца вварены в задвижку, то проточка их ведется на токарном станке в специальном приспособлении, где за одну установку протачиваются обе поверхности. После этого корпус задвижки поступает на шлифовку и притирку колец. Обе стороны клина в этом случае наплавляются и протачиваются в приспособлении за одну установку. Подгонка клина осуществляется по корпусу задвижки на горизонтально-заточном и притирочном станках. Общий угол между уплотнительными поверхностями клина составляет  $10^\circ$ , поэтому приспособления для токарной обработки уплотнительных поверхностей корпуса задвижки и уплотнительных поверхностей клина имеют скос  $5^\circ$ . В результате этого при установке обрабатываемой детали на приспособлении одна из уплотнительных поверхностей оказывается перпендикулярной оси вращения. После разворота на  $180^\circ$  съемной части приспособления, на которой укрепляется обрабатываемая деталь, и закрепления ее на основании с углом скоса  $5^\circ$  вторая уплотнительная поверхность оказывается перпендикулярной оси вращения. Следовательно, обе поверхности обрабатываются за одну установку в приспособлении. Обработка уплотнительных колец клиновых задвижек может проводиться не только на токарном, но и на горизонтально-расточном станке. Используемое при этом приспособление показано на рис. 6.41.

На основании 1 этого приспособления шарнирно укреплен синусный стол 2. Под основанием стола на расстоянии 300 мм от оси шарнира закреплен ролик 6, к нижнему столу прикреплена мерная опорная планка (подкладка) 7. По оси синусного стола проходит шпоночный паз, служащий направляющей для раздвижных призм 3. Приспособление устанавливается на стол горизонтально-расточного станка. Между роликом 6 и подкладкой 7 ставится мерная прокладка (набор концевых мер); размер прокладки подсчитывается следующим образом:  $300 \sin 5^\circ = 300 \cdot 0,0816 = 26,16 \pm 0,01$  мм. После этого синусный стол закрепляется с помощью двух накидных болтов 4 и гаек 5. По центральному пазу выверяется параллельность приспособления относительно шпинделя станка, затем приспособление закрепляется на столе.

На призмы устанавливается корпус задвижки. Регулировка перпендикулярности торца фланца к шпинделю станка осуще-

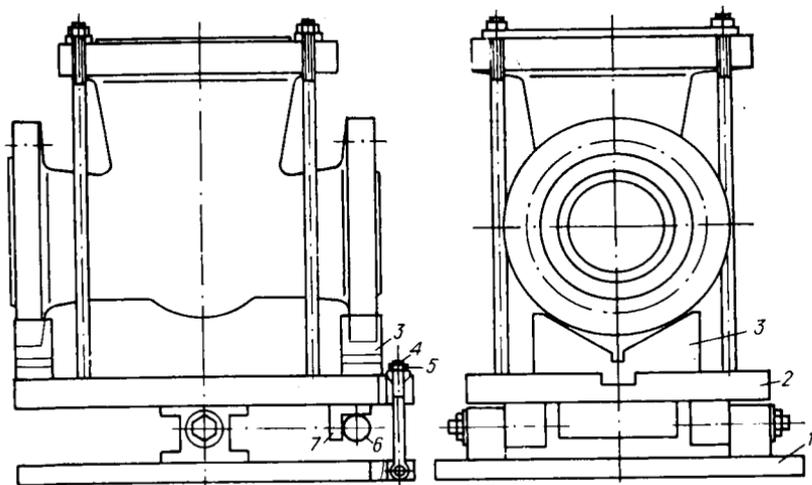


Рис. 6.41. Приспособление для проточки зеркал клиновых задвижек:

1 — основание; 2 — синусный стол; 3 — призма; 4 — накладной болт; 5 — гайка; 6 — ролик; 7 — опорная планка.

ствляется с помощью подкладок, располагаемых между фланцами и боковыми сторонами призмы. Параллельность проверяется по верхнему фланцу. После этого деталь закрепляется с помощью прижимных планок. Затем открепляются зажимы стола, убирается мерная планка, стол опускается до упора и закрепляется. Расточным резцом выполняется подрезка левого зеркала задвижки. После расточки стол приподнимается и ставится подкладка (размер ее подсчитывается следующим образом:  $300 \sin 10^\circ = 300 \cdot 0,1736 = 52,03 \pm 0,10$  мм). Затем стол закрепляется и осуществляется проточка правого зеркала. Приспособление обеспечивает точность выполнения двустороннего угла  $10^\circ$  в пределах одной угловой секунды. Это позволяет отказаться от подгонки клина и добиться полной герметичности задвижек.

Уплотнительная поверхность шпинделя должна быть зеркально гладкой. Перед ремонтом шпиндель очищается от следов старой сальниковой набивки, ржавчины, нагара, грязи и промывается в керосине либо бензине.

Вмятины и задиры глубиной не более 0,08—0,15 мм устраняются притиркой пастой ГОИ или шлифовальными порошками, разведенными в масле. При этом применяется приспособление, изображенное на рис. 6.42. Внутренние поверхности деталей, сопрягаемых со шпинделем, также проверяются на чистоту и отсутствие овальности.

После замены прокладки и сальниковой набивки собранную задвижку направляют на опрессовку.

Аналогично ремонтируются вентили. Сначала на стенде вентиль разбирают по соединению корпус—крышка. Затем

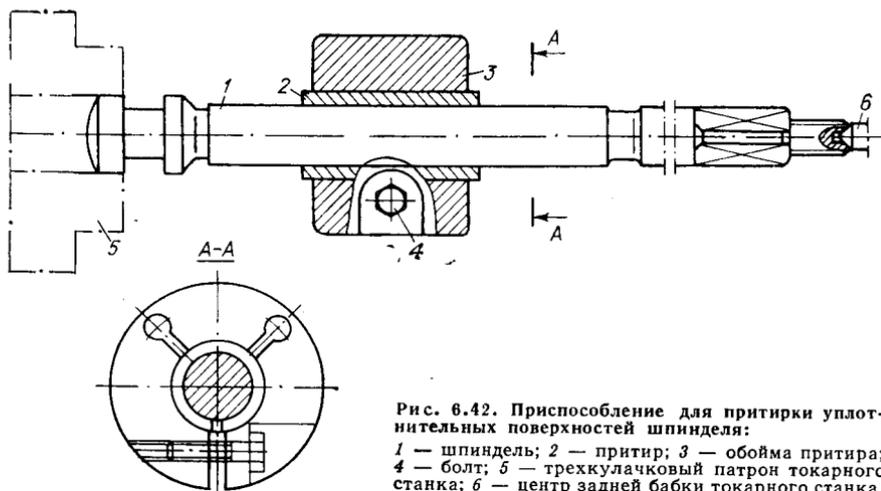


Рис. 6.42. Приспособление для притирки уплотнительных поверхностей шпинделя:

1 — шпиндель; 2 — притир; 3 — обойма притира; 4 — болт; 5 — трехкулачковый патрон токарного станка; 6 — центр задней бабки токарного станка.

осуществляется ремонт корпуса и всех деталей крышки методами, которые используются для задвижек. Ремонт сильфонных вентилялей имеет некоторые особенности. Толщина стенок сильфона не превышает 0,1—0,2 мм. Поэтому электросварка прожигает стенки сильфона. При ремонте приходится вытачивать новые концевые кольца для сварки сильфона. Сильфон помещается между деталью, к которой он должен быть прикреплен, и концевым кольцом (рис. 6.43). Приварка кольца к детали обеспечивает одновременно и приварку юбки сильфона.

При обработке уплотнительных поверхностей арматуры используется приспособление (рис. 6.44), в котором базирование детали осуществляется по резьбе. Приспособление состоит из корпуса 1, конической гайки 2 и круглой гайки 3. Корпус приспособления устанавливается на шпиндель станка. На деталь наворачивается коническая гайка, а после заведения детали в приспособление — круглая гайка. В одном приспособлении, меняя размеры гаек, можно обрабатывать более десятка типоразмеров деталей.

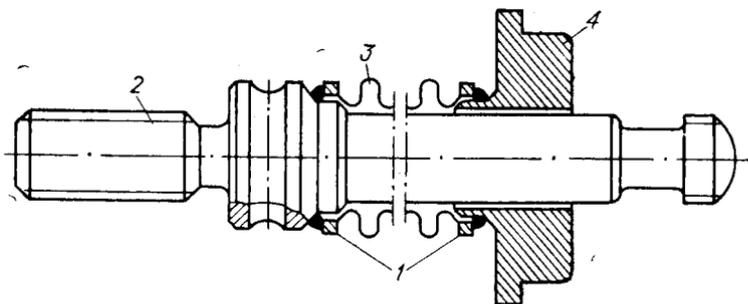


Рис. 6.43. Приварка сильфона:

1 — концевые кольца; 2, 4 — детали вентиля; 3 — сильфон.

Одной из трудоемких операций при ремонте арматуры является притирка уплотнительных поверхностей. Притирка плоских деталей арматуры (седел и клиньев) осуществляется по плите. Конструкция притиров выбирается в зависимости от формы притираемых поверхностей и величины условного прохода. Притирка может проводиться как вручную, так и механизированным способом.

При ручном способе притир плавно вращают по уплотнительной поверхности 5—8 раз попеременно вправо и влево на  $90^\circ$ , а затем поворачивают на  $180^\circ$  и из этого положения приводят во вращение 6—7 раз попеременно вправо и влево на  $90^\circ$ . Затем притир вынимают, а обрабатываемую поверхность промывают бензином и протирают. Притирку ведут до светло-матового цвета уплотнительной поверхности.

Для механизированной протирки уплотняющих поверхностей применяются притирочные станки или приспособления к сверлильным станкам (рис. 6.45). Притирочные станки имеют возвратно-вращательное движение притира с опережающим его вращением в одном направлении. В притирочную пасту вводится электрокорунд или карбид кремния различной зернистости.

Ремонт седла вентиля может выполняться на месте установки притиркой наждачной бумагой.

Приспособление для проточки седла клапана вентиля на токарном станке изображено на рис. 6.46. Приспособление фланцем зажимается в патроне токарного станка. Корпус вентиля крепится к установочной плите болтами. Для крепления

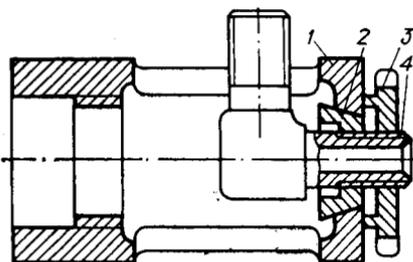


Рис. 6.44. Приспособление для крепления арматуры:  
1 — корпус; 2 — коническая гайка; 3 — круглая гайка; 4 — деталь.

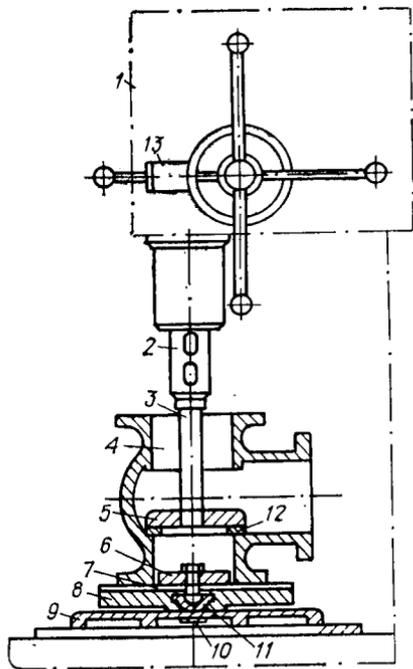


Рис. 6.45. Приспособление для притирки уплотнительной поверхности корпуса задвижки на сверлильном станке:  
1 — сверлильный станок; 2 — шпindelь станка; 3 — оправка; 4 — корпус задвижки; 5 — притир; 6 — направляющая шайба; 7 — резиновая прокладка; 8 — установочный диск; 9 — плита; 10 — ось диска; 11 — шарикоподшипник; 12 — уплотнительное кольцо задвижки; 13 — груз.

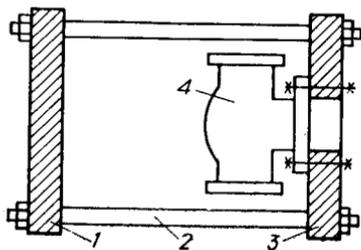


Рис. 6.46. Приспособление для проточки седла клапана вентиля:  
 1 — фланец; 2 — шпилька; 3 — установочная плита; 4 — корпус вентиля.

вентилей различного диаметра на установочной плите имеются соответствующие отверстия.

Обработка уплотнительных поверхностей вентиля может осуществляться с помощью приспособления, укрепляемого болтами на корпусе вентиля, с приводом от пневмо- или электродрели или с ручным приводом.

При разработке отверстия, находящегося на крышке вентиля ниже сальниковой камеры, наблюдается проваливание сальниковой набивки. При ремонте отверстие в крышке

растачивается, а затем в него запрессовывается втулка, которая крепится двумя шпильками. Это позволяет повторно использовать старые крышки вместо их замены.

Поврежденные места гуммированных вентилях после зачистки подвергаются догуммировке или покрытию эпоксидным составом.

Притирка гнезд клапанов и колец корпусов клиновых задвижек на месте установки проводится с помощью станка, закрепляемого на трубопроводе. Привод штанги, производящей притирку, осуществляется от электродвигателя.

При эксплуатации пружинных предохранительных клапанов возможны, например, следующие неполадки: загрязнение или повреждение уплотнительных поверхностей, нарушение соосности деталей, деформация пружин и т. д. При этом возможна утечка продукта через затвор клапана при давлении более низком, чем рабочее.

Разборка клапана осуществляется в таком порядке: снимается колпак, освобождается от натяжения пружина, снимается крышка, вынимается пружина и золотник вместе со штоком, а после освобождения опорных болтов регулировочных втулок извлекается из корпуса втулка, а также регулировочная втулка сопла клапана.

Небольшие повреждения уплотнительных поверхностей устраняются притиркой. Довольно большие повреждения исправляются проточкой поверхности на станке и последующей притиркой.

Пружины не должны иметь вмятин, трещин, забоин и т. п. Опорные поверхности пружины обязаны быть плоскими на длине не менее  $\frac{3}{4}$  витка. Пружины с трещинами отбраковываются. Испытание пружин заключается в трехкратном сжатии статической нагрузкой, вызывающей максимальный прогиб, с целью выявления остаточной деформации и сжатии статической нагрузкой, равной максимальной рабочей нагрузке, с одновременным контролем величины сжатия пружины. Для безопасного испытания пружин используются различные приспособления, в том числе с гидравлическим приводом, серийно выпускаемые промышленностью.

Вариант простейшего приспособления с ручным приводом через винтовую пару показан на рис. 6.47. Приспособление имеет основание 1 с двумя стойками 4, к верхней части которых приварена втулка 12. Во втулке размещены вращающаяся гайка 15, упорный подшипник 11. На верхнюю часть вращающейся гайки надет маховик 13 с накидной гайкой 14, удерживающей (при холостом ходе) вращающуюся гайку 15. К нижней части шпинделя 16 с помощью накидной гайки 6 прикреплена специальная крышка 5 с кольцевой полочкой для индикатора 7, установленного в подвижной втулке 8. Втулка 8 фиксируется стопорным винтом на штанге, закрепленной в неподвижной втулке 9. Для предотвращения проворачивания при холостом ходе шпиндель фиксируется хомутом 10, жестко связанным с направляющей втулкой 18, свободно перемещающейся по штанге 19. Штанга закреплена во втулке 17, приваренной к стойке, и фиксируется нижней втулкой 20.

При испытании в нижнюю часть пружины 2 для предупреждения возможных прогибов вставляется палец 3. Шпиндель 16 перемещается вниз до соприкосновения крышки 5 с верхним витком пружины 2. Исходное положение фиксируется индикатором.

При этом записываются его показания. При дальнейшем перемещении шпинделя пружина сжимается до зазора между витками в средней части, равного  $0,1d$  (где  $d$  — диаметр проволоки, из кото-

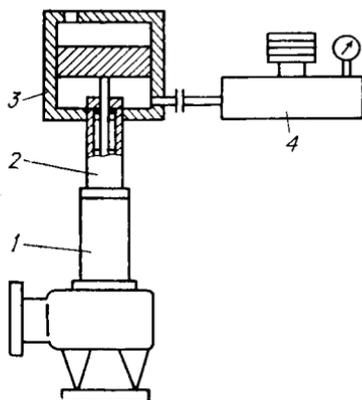
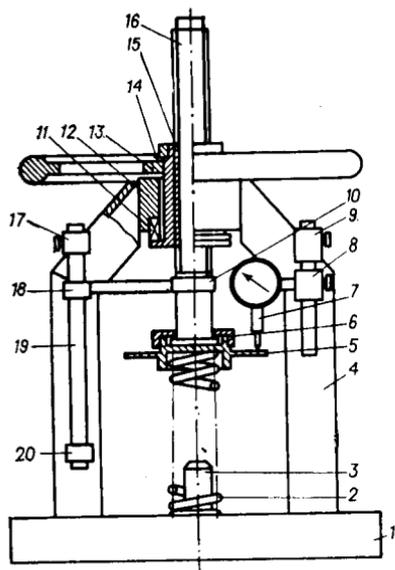


Рис. 6.47. Приспособление для испытания пружин предохранительных клапанов: 1 — основание; 2 — пружина; 3 — палец; 4 — стойка; 5 — специальная крышка; 6, 14 — накидные гайки; 7 — индикатор; 8, 9, 12, 17, 18, 20 — втулки; 10 — хомут; 11 — упорный подшипник; 13 — маховик; 15 — вращающаяся гайка; 16 — шпиндель; 19 — штанга.

Рис. 6.48. Приспособление для гидравлического испытания предохранительного клапана: 1 — клапан; 2 — переходной стакан; 3 — рабочий цилиндр; 4 — грузопоршневое устройство.

рой изготовлена пружина). После снятия нагрузки определяется упругость пружины и замеряются (с точностью до 0,01 мм) остаточные деформации.

Испытание предохранительного клапана на месте установки проводится путем механического нагружения клапана и определения усилия открывания клапана. Для проведения испытания с клапана снимается защитный колпак и на его место устанавливается приспособление для испытания клапанов. Корпус приспособления крепится на корпусе клапана на месте защитного колпака. Подвижная часть приспособления соединяется со штоком клапана.

При большом усилии открывания клапана используется гидравлическое нагружение. На рис. 6.48 показано приспособление для гидравлического испытания клапана. Приспособление имеет грузопоршневой орган с манометром, рабочий цилиндр с поршнем и штоком, переходной стакан. На конце штока приспособления имеется резьбовая муфта для соединения штока приспособления со штоком клапана. Переходной стакан своим фланцем соединяет рабочий цилиндр с корпусом клапана. Жидкость поступает в нижнюю полость рабочего цилиндра от грузопоршневого органа с манометром. По манометру определяется усилие срабатывания предохранительного клапана.

После ремонта арматуру необходимо испытать на прочность материала корпуса и крышки и на герметичность затвора, сальниковых набивок и прокладочных соединений. Для испытания арматуры используются специальные стенды, в том числе серийно выпускаемый стенд для проверки запорной фланцевой арматуры с  $D_y = 50 \div 250$  мм.

Испытание на прочность и плотность осуществляется водой. Проверка герметичности арматуры может выполняться керосином в течение 5 мин; просачивание керосина не допускается. Проводится также проверка герметичности в водяной ванне. Клапан через регулятор давления присоединяется к системе сжатого воздуха и погружается в ванну с водой. Отсутствие всплывающих пузырьков воздуха свидетельствует о герметичности клапана.

## ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 7.1. СТРУКТУРА МОНТАЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Строительно-монтажные работы по возведению объекта включают следующие категории работ: строительные, специальные строительные, монтажные. К строительным относятся работы по возведению зданий и сооружений; к специальным строительным — работы по вентиляции, футеровке, нанесению химзащитных и изоляционных покрытий, кладке промышленных печей, возведению кирпичных и железобетонных труб; к монтажным — монтаж оборудования, металлоконструкций, трубопроводов, КИП, энергетического оборудования, подъемно-транспортного оборудования.

Механомонтажные работы (монтаж оборудования, трубопроводов и металлоконструкций) слагаются из следующих разновидностей: такелажные работы, собственно монтажные работы, опробование и испытание смонтированного оборудования. К такелажным относятся работы по перемещению оборудования, узлов, секций, блоков, деталей, а также работы по установке такелажных средств. Такелажные работы проводятся на всей территории строящегося объекта.

К собственно монтажным относятся работы по распаковке оборудования, проверке комплектности и приемке в монтаж, проверке фундаментов, установке фундаментных болтов, разборке и сборке оборудования, очистке от консервирующих смазок, установке в проектное положение, креплению к основанию, а также перемещению в пределах места установки оборудования.

К работам по опробованию и испытанию относятся испытание на прочность и плотность, опробование на холостом ходу и под нагрузкой, устранение выявленных недостатков.

В состав Минмонтажспецстроя СССР входят главные производственные управления, специализированные как на выполнении работ в отдельных отраслях промышленности — Главметаллургмонтаж, Главнефтемонтаж, Главхиммонтаж, Главтехмонтаж, Главлегпродмонтаж, так и специализированные по видам работ — Главэлектромонтаж, Главмонтажавтоматика, Главтепломонтаж, Главсантехмонтаж, Главпромвентиляция, Главстальконструкция.

Главное управление обычно включает в себя 5—7 монтажных трестов и проектную организацию. Например, в Главхиммонтаже имеется институт Гипрохиммонтаж, в Главнефтемонтаже — институт Гипронефтеспецмонтаж. Проектные институты имеют территориальные проектно-конструкторские бюро (ПКБ). В задачу

проектных организаций входит разработка монтажной технической документации проектов производства работ, детализированных чертежей трубопроводов и металлоконструкций и оказание технической помощи трестам и управлениям. Разрабатываемую монтажную техдокументацию ПКБ согласовывают с заказчиком — монтажным управлением, что обеспечивает хорошее качество этой документации.

В состав монтажного треста входят 6—15 монтажных управлений, которые являются основным производственным подразделением, осуществляющим непосредственное выполнение работ.

Монтажное управление имеет несколько монтажных участков, которые в свою очередь делятся на участки производителей работ. Производителям работ подчиняются мастера, руководящие бригадами монтажников.

Централизованное выполнение типовых работ осуществляется на специализированных заводах и базах. Наиболее крупные промышленные предприятия и организации по изготовлению легких строительных конструкций, грузоподъемных приспособлений и инвентаря находятся в ведении главного управления Главспецлегконструкция. Ремонт строительных и дорожных машин осуществляют предприятия Главстроймеханизации. Таким образом, предприятия, централизованные на уровне министерства, обеспечивают выпуск средств для производства монтажных работ, а также продукции, потребляемой на монтажных работах. Специализированные предприятия, централизованные на уровне треста, изготавливают металлоконструкции и монтажные заготовки по заказам монтажных управлений, входящих в состав треста.

Специализированные участки по изготовлению металлоконструкций и монтажных заготовок могут создаваться и в монтажных управлениях. Такой участок обычно включает в себя цех трубных заготовок, цех металлоконструкций, в котором одновременно изготавливается и нестандартизированное оборудование, ремонтно-механический цех, линии сборки секций трубопроводов, склады, гараж и подсобные помещения.

Специализированные предприятия централизованно изготавливают металлоконструкции, лестницы шаровых резервуаров, рулоны элементов цилиндрических резервуаров, отводы, фланцы, узлы трубопроводов. К металлоконструкциям относятся этажерки, площадки, лестницы, ограждения, опоры, подвески трубопроводов, лотки, спуски.

## 7.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Основным документом для выполнения монтажных работ является проект производства работ (ППР), разрабатываемый специализированной проектной организацией. В ППР предусматривается решение следующих организационно-технических во-

просов: первоочередное выполнение подготовительных и общеплощадочных работ, организация площадок для складирования и укрупнительной сборки, последовательность монтажа, поточность производства монтажных работ, безопасность монтажных работ.

ППР на особо сложные работы по монтажу тяжеловесного оборудования подлежат обязательной экспертизе в таких специализированных проектных организациях как Гипрохиммонтаж, Гипронефтеспецмонтаж, Промстальконструкция. Главные управления министерства ежегодно утверждают перечень особо сложных работ на ближайший год. Для технически несложных работ по согласованию с проектной организацией ППР может выполняться проектными группами или группами подготовки производства монтажных организаций.

Задание на разработку ППР проектной организации выдает монтажная организация. В этом задании приводятся все данные, необходимые для проектирования.

ППР содержит: копию задания, ведомость документов, пояснительную записку, ведомость объема монтажных работ в стоимостном и натуральном выражениях, генеральный план монтажных работ, графики, технологические карты, ведомость потребных средств, материалов, энергоресурсов, рабочие чертежи индивидуальных приспособлений, технические решения по прокладке временных коммуникаций.

В пояснительной записке приводятся основные проектные решения и их технико-экономическое обоснование, в том числе по механизации трудоемких ручных операций.

На генеральном плане монтажных работ приводятся с основными размерами и привязками примыкающие здания и сооружения, железнодорожные и автомобильные дороги, в том числе временные, монтажные площадки, сооружения монтажных организаций (административные, бытовые, производственные, складские и т. д.), постоянные и временные сети (электрические, водопроводные, пара, сжатого воздуха и др.), разбивка объекта на очереди строительства.

Графики, входящие в ППР, разрабатываются линейными или сетевыми по этапам либо по пусковому комплексу в целом. К ним относятся графики производства монтажных работ, движения рабочей силы по профессиям, работы механизмов, подачи в монтаж оборудования, конструкций, материалов.

На типовые виды монтажных работ и на монтаж несложных объектов составляются технологические карты.

Технологическая карта монтажа аппарата разрабатывается на основе ППР. На ней изображается схема монтажа аппарата с показом размещения его в здании или привязки к соседнему оборудованию, показом размещения грузоподъемных средств, указанием веса и схемы строповки аппарата, последовательности монтажа, отмечаются указания по технике безопасности, на

которые необходимо обратить особое внимание. Пояснительная записка к технологической карте содержит характеристику монтируемого объекта, ведомость потребных механизмов, выбор способа монтажа, перечень подготовительных работ, технологию монтажа, указания по технике безопасности.

Технологические карты или схемы разрабатываются на следующие виды работ: 1) перемещение оборудования; 2) укрупнительная сборка; 3) установка в проектное положение; 4) монтаж трубопроводов; 5) установка, передвижка и демонтаж такелажных средств; 6) испытание оборудования и трубопроводов.

До выдачи ППР в производство руководители монтажных организаций должны обеспечить изучение основных решений проекта производственным персоналом (инженерно-технические работники, бригадиры, специалисты по технике безопасности). Изучение основных организационно-технических решений и возможных ситуаций целесообразно проигрывать с непосредственными исполнителями работ на схемах и макетах.

ППР иногда разрабатывается в двух вариантах для возможности проведения монтажа по любому из вариантов в зависимости от создающихся условий.

### 7.3. ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖНОЙ ПЛОЩАДКИ

Монтажной площадкой называется комплекс производственных и бытовых зданий с дорогами и коммуникациями. При организации монтажной площадки особое внимание уделяется вопросам техники безопасности — ограждению опасных зон, освещению монтажной площадки, наличию пожарного инвентаря и аптечек. Часть вопросов техники безопасности, требующих проектной разработки, включается в ППР. Вопросы, не требующие расчетов и проектирования, учитываются при организации монтажной площадки.

К началу монтажных работ должны быть выполнены работы нулевого цикла: подготовка подъездных путей и проездов, изготовление фундаментов, покрытие монтажных площадок сборными железобетонными плитами, обеспечение площадок водопроводом, электроэнергией, канализацией. Организация площадки включает установку бригадных и прорабских домиков, оборудование инструментальных кладовых и ремонтных мастерских с наждачным и сверлильными станками и слесарными верстаками, оборудование площадки укрупнительной сборки и площадок для хранения оборудования.

По способу хранения оборудование делится на четыре группы: 1) оборудование, хранимое на открытых площадках (оборудование, не требующее защиты от атмосферных осадков); 2) оборудование, хранимое под навесами (оборудование, требующее защиты от осадков, но не требующее защиты от колебаний темпе-

ратуры); 3) оборудование, хранимое в неотапливаемых закрытых складах (мелкие детали, крепеж, арматура); 4) оборудование, хранимое в отапливаемых закрытых складах (электроды, КИП, подшипники качения и т. д.).

Склад оснащается шебрами для погрузки-выгрузки крупногабаритного оборудования, роликовым стендом на площадке укупирительной сборки и подъездными путями.

При организации площадки учитываются индустриальные методы выполнения работ. При этом предусматривается: 1) применение самоходных кранов с рациональными схемами повышения их грузоподъемных характеристик; 2) применение совмещенного производства строительных и монтажных работ; 3) выполнение максимального объема заготовительных работ в условиях производственно-заготовительной базы; 4) выпуск продукции этой базы с максимально возможной степенью заводской готовности и преимущественно в блочном варианте.

Совмещение строительных работ предполагает монтаж оборудования на нулевой отметке, возведение перекрытий первого этажа, монтаж оборудования на перекрытии, возведение перекрытий второго этажа, монтаж оборудования и т. д.

Крупноблочный метод монтажа предполагает выполнение максимального объема работ на уровне земли в наиболее безопасных условиях и с наибольшей производительностью. При этом уменьшаются затраты труда на вспомогательные работы — сооружение лесов и временных коммуникаций воды, пара, электричества. На уровне земли проводятся не только сборочные работы, но и гидротестирования, нанесение теплоизоляции, футеровки, обвязка трубопроводов и площадок.

Кроме крупноблочного монтажа применяется блочная поставка оборудования или блочный метод монтажа мелкого оборудования, komponуемого в блок на общей металлоконструкции. Блочный метод монтажа предполагает сборку оборудования в блок на нулевой отметке с последующим подъемом блоков в проектное положение и их соединение. Компоновка блоков может осуществляться как в цехах машиностроительных заводов, так и на производственных базах этих заводов. Наиболее часто на монтажных площадках в блок собираются смазочно-гидравлические станции различных машин и агрегатов.

Если завод монтажных заготовок и центральные мастерские монтажных заготовок (ЦММЗ) монтажного управления находятся далеко от монтируемого объекта, организуются приобъектные мастерские монтажных заготовок. Мастерские размещаются во временном здании сборно-разборного типа или в одном из помещений строящегося объекта.

Места выгрузки крупногабаритного оборудования должны находиться недалеко от места его установки. Площадка для сборки и сварки крупноблочного оборудования располагается по возможности вблизи места монтажа. Мастерские и площадки

укрупнительной сборки оснащаются грузоподъемными механизмами, сборочными стендами, стеллажами, сварочным оборудованием. Для работы механизмов к площадкам подводится электроэнергия, а для проведения испытаний — вода и воздух. Стенды для крупнительной сборки целесообразно размещать в радиусе действия кранов. Для хранения стропов применяются стенды типа вешалки. Для хранения тросов используется и горизонтальный стенд, на который укладываются металлические катушки с тросами. Рабочие места сварщиков ограждаются с помощью брезентовой палатки, укрепляемой на боковой стенке передвижной сварочной будки или с помощью брезентовых тентов.

#### 7.4. ТРЕБОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УДОБСТВО МОНТАЖА

К химическому оборудованию кроме требований, определяющих технологическое назначение, надежность, долговечность, прочность, герметичность и т. д., предъявляются также требования, обеспечивающие удобство выполнения монтажных работ.

Перевозка оборудования осуществляется в основном железнодорожным транспортом. Поэтому габаритные размеры оборудования должны вписываться в габарит подвижного состава железнодорожного транспорта. Это требование относится к выступающим элементам (штуцера, опорные устройства, детали для крепления обслуживающих площадок, изоляции, устройства для строповки). Вылет выступающих элементов должен быть минимально необходимым. Предусматривается также разъемное присоединение выступающих элементов к оборудованию.

Негабаритное оборудование перевозится в разобранном виде при минимальном числе отдельных транспортабельных блоков. Блоки должны быть промаркированы. Знаки маркировки и сборочные риски выполняются на сопрягаемых деталях блоков клеймением, гравировкой или краской. Риски, нанесенные клеймением или гравировкой, обводятся яркой краской.

Для производства погрузо-разгрузочных работ, для подъема и установки оборудования в проектное положение должны быть предусмотрены на оборудовании или на отдельных его блоках устройства для строповки (захватные приспособления). Вместо специальных устройств строповка может осуществляться за элементы оборудования — технологические штуцера и горловины, уступы на корпусах, элементы станин при наличии в последних отверстий. Подобные места строповки обозначаются на оборудовании яркой краской.

Для выверки положения оборудования на фундаменте на опорах оборудования должны быть нанесены риски, фиксирующие в плане главные оси оборудования и служащие для выверки оборудования в плане, на корпусах должны быть обработаны кон-

трольные площадки или указаны базовые поверхности для установки уровня при выверке горизонтальности, на опорах должны быть установлены регулировочные (отжимные) винты, на участках станин, не закрытых узлами, должны быть выполнены отверстия для заполнения бетонной смесью полостей в опорных поверхностях. Опорные поверхности, соприкасающиеся с бетонной подливкой, не должны иметь следов краски, в противном случае краску приходится счищать.

Для проведения гидравлического испытания на аппаратах должны быть предусмотрены штуцер-воздушка для выпуска воздуха при заполнении аппарата водой, штуцер для установки манометра и штуцер для слива воды. Расположение штуцеров на колонной аппаратуре должно учитывать возможность проведения гидравлического испытания в горизонтальном положении до установки аппаратуры в проектное положение. Эти требования учитываются при проектировании оборудования. Далее рассматриваются требования, также учитываемые при проектировании, но соблюдение которых в основном связано с заводом-изготовителем.

Все штуцера и отверстия в оборудовании должны быть закрыты пробками или заглушками, а наиболее ответственные — еще и опломбированы. Во фланцевых монтажных соединениях оборудования, поставляемых блоками, в необходимых случаях должны быть выполнены установочные штифты, обеспечивающие сборку без подгоночных операций и регулировки взаимного положения блоков.

Поставляемое оборудование должно быть законсервировано. Консервирующей смазкой покрываются все обработанные и неокрашенные поверхности, которые могут подвергнуться коррозии в атмосферных условиях. Метод консервации должен обеспечить расконсервацию без разборки оборудования или его блоков.

На оборудовании с вращающимися узлами предусматриваются стрелки, указывающие направление вращения. Стрелки должны быть окрашены в красный цвет несмываемой краской.

Ограждения вращающихся частей, поставляемые не в сборе с оборудованием, должны пройти на заводе-изготовителе контрольную сборку и маркировку и поставляться в комплекте с крепежными деталями.

На аппаратах, внутренние поверхности которых футеруются, должны быть приварены все детали крепления защитных покрытий и облицовок. Полностью выполняются на заводах-изготовителях покрытия из свинца, винипласта, лаков, эмали, полиизобутилена.

Все трубопроводы, входящие в объем поставки, должны быть испытаны, промаркированы и поставлены в комплекте с фланцами, прокладками и крепежными деталями. Оборудование или его отдельные блоки должны быть собраны на постоянных прокладках, не подлежащих замене при монтаже. Блоки должны

пройти на заводе-изготовителе контрольную сборку. Заводская готовность оборудования предполагает исключение разборки и ревизии оборудования в процессе монтажа. Сборка оборудования при монтаже проводится в более неблагоприятных условиях, чем сборка на машиностроительном заводе в цеховых условиях с применением специализированных сборочных и контрольных приспособлений. Поэтому проектирование элементов технологических схем в блочном исполнении диктуется необходимостью повышения качества и сокращения сроков монтажа. Оборудование может поставляться в собранном виде, узлами или россыпью (отдельными деталями). Эти виды поставки относятся к отдельным аппаратам или машинам. Наиболее предпочтительна поставка в полностью собранном виде, что уменьшает объем работ по доделкам и устранению дефектов, сокращает сроки монтажных работ.

Малогабаритное оборудование может поставляться в виде блоков. Блок комплектуется из оборудования небольших габаритов и массы, технологически тесно связанного между собой, оснащенного приборами контроля и регулирования и обвязанного трубопроводами. Блоки могут иметь плоскую или пространственную компоновку. Например, блок компрессорной станции, состоящий из компрессора, фильтров, теплообменников и трубопроводов, собирается на общей плоской раме. Отдельные элементы технологической схемы могут собираться в объемной металлоконструкции. Основным требованием к таким блокам является необходимая жесткость рамы или металлоконструкции, позволяющая транспортировать блок.

Блочный метод монтажа предполагает выполнение проектирования производств в комплектно-блочном исполнении. Особенно эффективно применение блочного метода при проектировании типовых и повторяемых технологических установок и комплектных технологических линий. В сравнении с поставкой оборудования россыпью блочный метод сокращает затраты труда при монтаже на 80%, повышается качество сборки, отпадает выверка каждой машины, входящей в блок, на фундаменте упрощаются монтажные чертежи.

Содружество проектировщиков, эксплуатационников и монтажников, в частности рассмотрение проектов с участием эксплуатационников и монтажников, позволяет учесть при проектировании условия монтажа оборудования и условия, обеспечивающие удобство сборки-разборки оборудования при ремонтах.

Например, при установке крупногабаритного оборудования на высоком постаменте монтаж оборудования методом поворота вокруг шарнира оказывается невозможным. В этом случае проектировщики, учитывая требования монтажников, заменяют постамент металлической юбкой, которая монтируется в сборе с аппаратом.

Шарнир для подъема аппарата методом поворота вокруг шарнира должен изготавливаться на заводе и входить в комплект по-

ставки. Кондукторы и приспособления, с помощью которых осуществлялась контрольная сборка на заводе, также должны поступать на монтаж вместе с оборудованием.

## 7.5. ПЕРЕВОЗКА ОБОРУДОВАНИЯ

Перевозка оборудования с машиностроительных заводов к месту строительства может осуществляться в виде отдельных деталей россыпью, блоками или в полностью собранном виде. Перевозки россыпью или блоками выполняются железнодорожным транспортом. Наибольшую сложность представляет перевозка оборудования в собранном виде, особенно крупногабаритного оборудования.

Перевозка крупногабаритных аппаратов в собранном виде возможна железнодорожным, водным или автодорожным транспортом. При перевозке железнодорожным транспортом крупногабаритного оборудования используются многоосные платформы сцепного типа. Особое внимание обращается на наличие на трассе мостов, туннелей, путепроводов и других дорожных сооружений, ограничивающих габариты состава. В необходимых случаях для осуществления перевозки используется временное понижение железнодорожного пути под автодорожным мостом. При транспортировке тяжелой аппаратуры по специальным рельсовым путям дороги, автомагистрали и железнодорожные пути временно засыпаются слоем грунта, на который укладываются инвентарные переставляемые участки рельсового пути.

При перевозке автодорожным транспортом используются буксируемые или самоходные пневмоколесные транспортеры (тележки), самоходные гусеничные транспортеры. Перевозке предшествует обследование трассы и оценка объема предстоящих работ. Переезды через пути временно засыпаются. Иногда приходится расширять дорогу и достраивать отдельные участки дороги или строить объезд путепровода. При большой высоте аппарата на грузовых тележках приходится демонтировать пересекающие трассу линии связи и освещения. Тележки изготавливаются с использованием отбракованных авиационных колес, которые имеют малый диаметр и допускают нагрузку 100 кН на одно колесо. Колеса тележки имеют гидробалансирную систему подвески осей. Автопоезд для перевозки крупногабаритных аппаратов (рис. 7.1) состоит из тягача с полуприцепом и заднего прицепа.

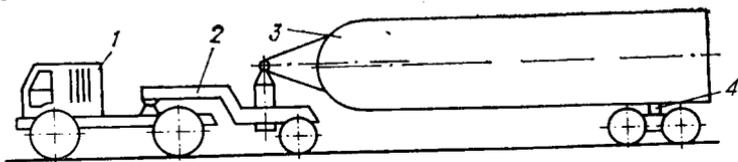


Рис. 7.1. Схема автопоезда:

— тягач; □2 — полуприцеп; □3 — крупногабаритный аппарат; □4 — задний прицеп.

управляемого прицепа, соединенных перевозным грузом в единую транспортную систему. Груз опирается на прицепы посредством специальных шарнирных опор, обеспечивающих маневренность автопоезда. Прицеп-тяжеловес оборудован опорно-поворотным седлом, на котором аппарат закрепляется хомутами из полосовой стали. В качестве тягачей используются автомобили-самосвалы с загруженным грунтом кузовом. Для перевозки крупногабаритных аппаратов используются также два трейлера с провисом аппарата между ними. Малая высота аппарата над полотном дороги (250—500 мм) обеспечивает достаточную устойчивость автопоезда за счет низко расположенного центра тяжести.

В качестве тягачей используются четырехосные автомобили, количество которых выбирается в каждом конкретном случае по расчету тяговых усилий. Для предохранения от опрокидывания аппаратов с высоким расположением центра тяжести применяются кильблоки, которые при опрокидывании упираются в грунт. На спусках для торможения сзади на гибкой оттяжке могут ставиться тягачи. При движении под контактными проводами трамвайно-троллейбусных линий провода могут подниматься машинами аварийной службы с подъемными вышками, переезжающими по мере движения вперед и поднимающими контактную сеть, обеспечивая движение автопоезда.

Уменьшение объема погрузоразгрузочных работ достигается применением совмещенного автодорожно-водного способа перевозки, когда автодорожный прицеп с аппаратом и тягач заезжают на баржу и транспортируются баржей без разгрузки.

## 8.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Для выполнения монтажных работ применяется разнообразное оборудование, предназначенное в основном для проведения такелажных операций.

Стальные проволочные канаты используются в качестве грузовых канатов полиспастов, а также для изготовления стропов, расчалок и оттяжек. По конструктивному признаку канаты делятся на канаты одинарной, двойной и тройной свивки. Канаты одинарной свивки изготавливаются непосредственно из отдельных проволок. При двойной свивке из отдельных проволок свиваются пряди, а из прядей — канат. Канаты двойной свивки называются тросами, тройной свивки — кабелями.

Пеньковые канаты используются для вспомогательных работ — подъем вручную через блок мелких деталей и конструкций, элементов подмостей, для оттяжек при подъеме груза.

Стальные канаты обычно работают на растяжение, а при огибании барабана или ролика — на изгиб. Усилие, действующее на канат, имеет различное значение в зависимости от схемы подъема. При расчете усилий учитываются к. п. д. неподвижных блоков и к. п. д. отводных блоков. К. п. д. блока с роликами, насаженными на подшипниках качения, равен 0,98, а с роликами, насаженными на подшипниках скольжения, — 0,96. При увеличении количества блоков нагрузка на канат повышается. Наибольшее усилие имеет место на участке каната, примыкающем к лебедке. Подбор каната осуществляется по наибольшему усилию. Наименьший допустимый диаметр  $D$  блока или барабана, огибаемого канатом, определяется в зависимости от диаметра каната  $d$  соотношением

$$D/d \geq f = 17 \div 34$$

Численное значение коэффициента  $f$  зависит от привода механизма (ручной или машинный), режима работы механизма (легкий, средний, тяжелый) и типа механизма.

Вместо канатов можно использовать тонкую стальную ленту (отношение ширины к толщине более 100). Лента проще в изготовлении и дешевле, легче смазывается, уменьшает габариты блоков, не закручивается под нагрузкой, поддается покрытию фторопластом. Стропы изготавливаются из стальных канатов, реже — из стальных цепей или пеньковых канатов и служат для строповки

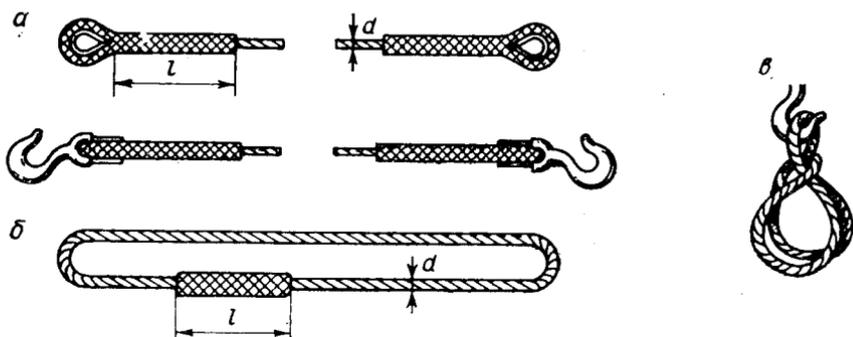


Рис. 8.1. Стропы:

*а* — облегченный; *б* — универсальный; *в* — пример строповки универсальным стропом.

поднимаемых грузов. Наибольшее распространение получили стропы двух типов — облегченный и универсальный (рис. 8.1). Облегченный строп изготавливается из стального каната, на концах которого предусматриваются петли с коушами, предохраняющими канат от истирания. Длина сплетки каната  $l = 20d$ . Универсальный строп изготавливается в форме замкнутой петли длиной 5—15 м. Длина сплетки концов каната  $l = 40d$ . Применяются также стропы, имеющие сплетку по всей длине петли. Монтажные стропы изготавливаются также путем обжатия концов каната с помощью домкратов обжимными гильзами из стали или алюминиевых сплавов.

При подъеме груза располагать ветви стропа под углом менее  $30^\circ$  к горизонту не рекомендуется, так как в этом случае в стропе возникают значительные усилия.

Цепные стропы, изготавливаемые из цепей, также могут быть облегченными или универсальными. Используются они при обвязке грузов с острыми углами, поскольку при подъеме таких грузов канатные стропы быстро изнашиваются.

Для предохранения канатных стропов от повреждений при изгибах на острые грани груза подкладываются деревянные или металлические подкладки.

Для перемещения длинномерных и крупногабаритных грузов, когда нужно стропить за несколько точек, используются жесткие стропы-траверсы.

Грузозахватные устройства изготавливаются путем присоединения к кольцу, навешиваемому на крюк крана, нескольких облегченных стропов (рис. 8.2). Подобные конструкции грузозахватных устройств позволяют осуществлять подъем самых разнообразных длинномерных грузов, различных узлов оборудования и металлоконструкций.

С целью повышения производительности труда монтажников используются стропы с полуавтоматическими захватами, в которых расстроповка груза выполняется без участия стропальщика. Полуавтоматический захват (рис. 8.3) позволяет провести расстро-

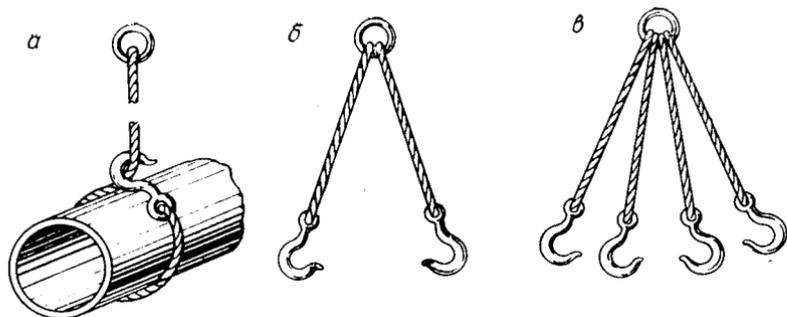


Рис. 8.2. Захватные устройства:  
*а* — с одним крюком; *б* — с двумя крюками; *в* — с четырьмя крюками.

повку груза без подъема к месту строповки. Для этого достаточно потянуть за тяговый тросик с земли или из кабины машиниста крана. При рабочем положении запорный штифт 4 опирается на проушины скобы 1. При натяжении тягового тросика происходит сжатие пружины и выход запорного штифта из проушин.

Электрические устройства для расстроповки имеют электродвигатель с редуктором, вращающим винт, представляющий единое целое с грузозахватным штифтом (пальцем). На пульте крановщика лампочки показывают окончание расстроповки благодаря концевому выключателю, установленному в устройстве.

Полуавтоматический захват с магнитным приводом имеет пружину, запорный штифт, соленоид и рукоятку для ручного оттягивания запорного штифта (пальца) при строповке. Расстроповка осуществляется включением тока в линии, питающей соленоид. Аналогично устроен полуавтоматический захват с пневмоприводом.

Для предотвращения самопроизвольного выпадания грузозахватных приспособлений из зева крюка используются запорные

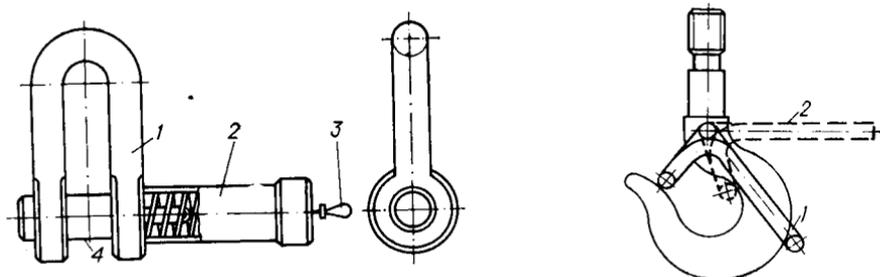


Рис. 8.3. Полуавтоматический захват:  
*1* — скоба; *2* — обьема с пружиной; *3* — тяговый тросик; *4* — запорный штифт.

Рис. 8.4. Крюк с предохранительным клапаном:  
*1* — закрытое положение; *2* — открытое положение.

устройства. На рис. 8.4 показаны положения предохранительного клапана (замка) — закрытое и открытое. Нормальным является закрытое положение, так как ручка замка опускается вниз под действием силы тяжести, перекрывая при этом запорной частью замка зев крюка. Для возможности расстроповки груза после его подъема к ручке замка крепится тяговый тросик, который пропускается через петлю, укрепленную на верхней части крюка.

Запорные (предохранительные) устройства, укрепляемые на крюке с помощью хомутов, не нарушают прочности крюка.

Траверсы (рис. 8.5) служат для распределения усилия подъема на несколько точек строповки. Двулучевая траверса позволяет осуществить подвеску аппарата не в одной точке, а в двух, вследствие чего уменьшается прогиб аппарата от собственного веса. Трехлучевая траверса дает возможность осуществить подвеску цилиндрической обечайки в трех точках. При использовании траверсы сжимающие усилия, возникающие в поднимаемых элементах при наклонном положении стропов, заменяются усилиями, направленными вертикально вверх. Это позволяет избежать деформирования поднимаемых элементов.

Изготавливаются траверсы из швеллеров, двутавровых балок или листового металла в виде жесткой конструкции, снабженной проушинами (ушками) для присоединения стропов. Отверстия в лучах траверсы дают возможность путем перестановки проушин, фиксируемых осью 1, изменять расстояние между вертикальными грузовыми стропами. Балансирная траверса служит для распределения веса аппарата на два крана. Проушинами 3 траверса подвешивается на крюках кранов. Подвеска аппарата осуществляется к захвату 4. Балансирная траверса применяется при любых способах подъема, когда используются два крана.

Балансирная траверса, которая подводится под аппарат до подъема, состоит из балки с опорой, жестко укрепляемой на корпусе аппарата снизу. Опора соединяется с балкой шаровым шарниром, обеспечивает балансировку нагрузок на краны. Пята опирается на опорное звено со сферической поверхностью. Саморасстроповка кранов на высоте обеспечивается за счет разъема шаровой опоры и пяты после окончания работы кранов и включения в работу дотягивающей системы.

Блоки используются в составе грузоподъемных механизмов или в качестве отводных блоков. В зависимости от числа роликов блоки могут быть однорольными и многорольными. Многорольные блоки применяются в полиспадах для подъема тяжелых грузов. Однорольные блоки используются для подъема легких грузов и в качестве отводных блоков.

Полиспах представляет собой пару многорольных блоков, соединенных канатом. Канат последовательно огибает ролики обоих блоков. Один конец каната прикрепляется к одному из блоков полиспада, а другой — крепится на тяговом устройстве (лебедка, трактор).

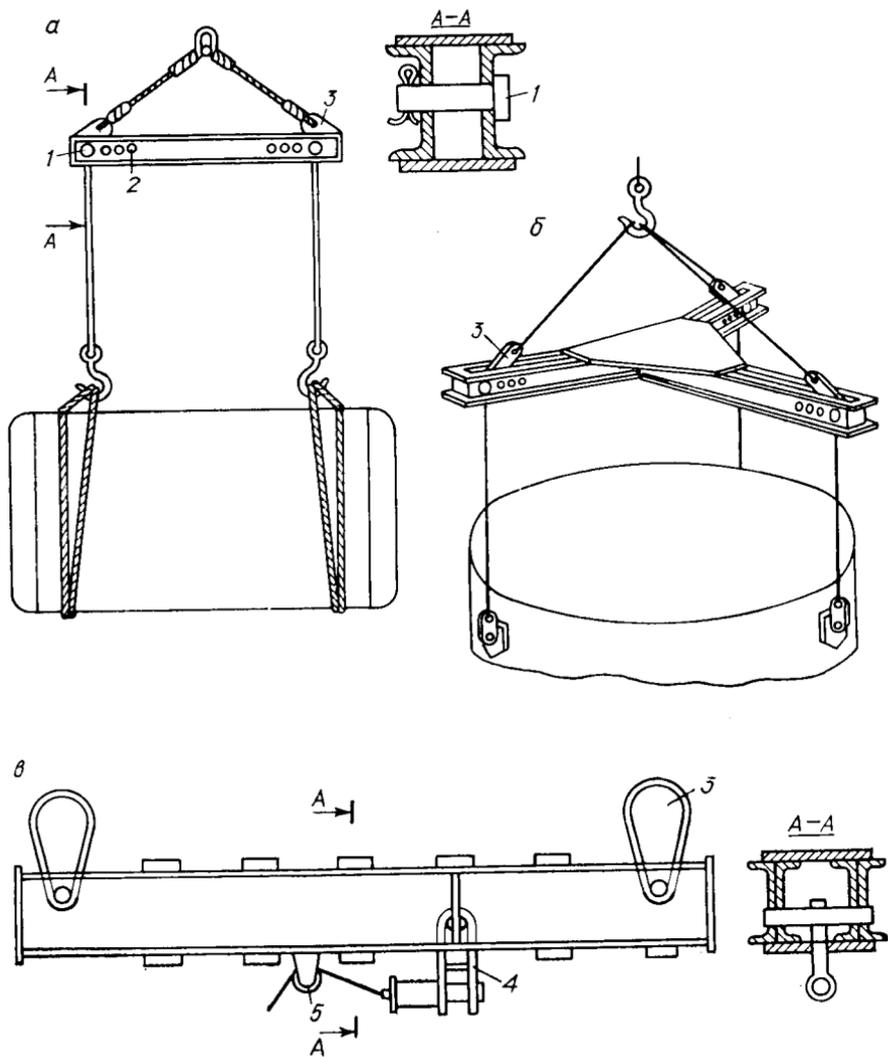


Рис. 8.5. Траверы:  
*a* — двухлучевая; *б* — трехлучевая; *в* — балансирующая;  
 1 — ось; 2 — отверстие; 3 — проушина; 4 — захват; 5 — ролик для тягового тросика.

Неподвижный блок полиспаста укрепляется на какой-либо опоре (якоре, оголовке крана или мачты). К подвижному блоку крепится перемещаемый или поднимаемый груз. Один конец каната, называемый глухим, крепится к проушине верхнего или нижнего блока, а другой конец, называемый сбегаящим, — на барабане лебедки. Ветви каната, соединяющие блоки, называются рабочими нитками (ветвями) полиспаста (рис. 8.6, *a*).

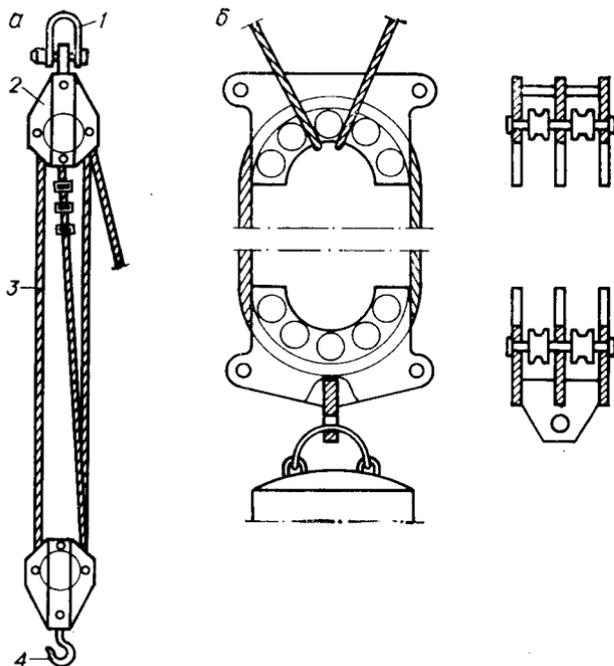


Рис. 8.6. Полиспасты:

*a* — крупногабаритный; *б* — малогабаритный;

*1* — скоба; *2* — блок; *3* — рабочая ветвь каната; *4* — крюк.

Полиспасты используются для получения выигрыша в усилии подъема за счет уменьшения скорости подъема.

Блоки малогабаритных полиспастов имеют вместо вращающихся роликов большого диаметра кассеты из роликов малого диаметра. Кассета выполняется в виде арочной конструкции, состоящей из нескольких щек с расположенными между ними роликами малого диаметра. Ролики располагаются на осях, образующих в плане полуокружность (рис. 8.6, б). Высота малогабаритного блока (обоймы) меньше на величину нижней нерабочей части обычного блока, поэтому малогабаритные полиспасты имеют большую высоту подъема груза по сравнению с крупногабаритными полиспастами.

Домкраты применяются для подъема оборудования на небольшую высоту, выверки и установки оборудования на фундаменте. Грузоподъемность винтовых домкратов составляет 30—200 кН, высота подъема груза равна 100—350 мм. Гидравлические домкраты имеют грузоподъемность 200—2000 кН и высоту подъема груза 60—150 мм. Высота подъема может быть увеличена при использовании нескольких циклов подъема с установкой подкладок под оборудование, а затем под домкраты с перезарядкой домкратов. Грузоподъемность может быть повышена при использо-

нии нескольких параллельно работающих домкратов. Гидравлические домкраты при малых размерах и массе позволяют развивать большие усилия, работают плавно и бесшумно.

Ручные лебедки применяются для перемещения груза в горизонтальном и наклонном направлениях и как вспомогательные механизмы для оттяжки груза при подъеме и для натяжения расчалок. Грузоподъемность ручных лебедок составляет 15 и 30 кН. Для повышения грузоподъемности используются полиспасты.

Лебедки с машинным приводом (электрическим или дизельным) имеют грузоподъемность 5—150 кН. Для обеспечения универсальности выполнения работ барабан лебедок имеет большую канатоемкость (100—900 м). Рама лебедки во избежание смещения крепится стальным канатом к стационарному якорю или конструкции здания либо укрепляется грузом (балластом) и свайным якорем (рис. 8.7).

Якоря служат для закрепления лебедок, полиспастов, расчалок. В качестве якорей могут быть использованы элементы зданий и фундаменты при проведении соответствующих расчетов. Якоря могут быть следующих типов: 1) из угловой стали и рельсов при

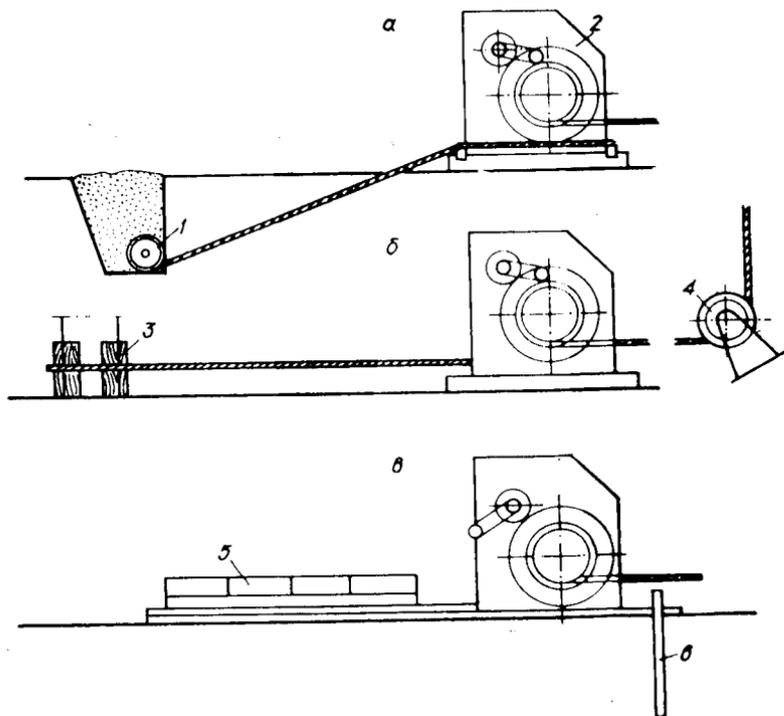


Рис. 8.7. Закрепление лебедки:

а — за якорь; б — за конструкцию здания; в — загрузкой балласта;

1 — стационарный якорь; 2 — лебедка; 3 — колонна; 4 — отводной блок; 5 — балласт; 6 — свайный якорь.

забивке в грунт под углом; 2) из бревен, стянутых скобами и заглубленных в грунт; 3) из железобетонных заглубленных блоков. Горизонтальные якоря выполняются из железобетонного блока или нескольких бревен, зарытых в землю, к середине которых крепится стальной канат, выводимый на поверхность земли.

Железобетонный якорь состоит из железобетонной плиты, укладываемой в котлован. В плиту заделывается тяга, изготовленная из каната или профильного металла.

Наземные инвентарные якоря представляют собой сварную конструкцию, на которую укладываются железобетонные блоки. Для сцепления с грунтом к основанию конструкции приварены швеллера, полки которых заглубляются в грунт от веса блоков. Применение находят также инвентарные винтовые якоря, ввинчиваемые своим шнеком (винтом) в грунт.

**Стреловые краны.** Монтажные краны применяются для подъема и перемещения грузов. К таким работам относятся разгрузка прибывшего оборудования, подача его в зону монтажа, укрупнительная сборка, монтаж.

На открытых площадках используются легкие монтажные краны, грузоподъемностью до 10 кН, установленные на ходовой тележке и снабженные электрической лебедкой. Для проведения основных работ используются автомобильные, гусеничные, пневмоколесные, башенные, мостовые, козловые, порталные краны, краны-трубукладчики.

К группе стреловых относятся автомобильные, гусеничные, пневмоколесные и башенные краны.

Оборудование установок и цехов располагается в основном на открытых площадках, в одно- и многоэтажных зданиях, эстакадах, галереях. Краны грузоподъемностью до 160 кН позволяют для большинства установок химических заводов выполнять монтаж 70—100% всего оборудования, что составляет 25—100% массы оборудования. По сравнению с кранами использование мачтовых подъемников (мачт, шевров, порталов) требует большего объема подготовительных работ: устройство якорей, запасовка полиспастов, установка расчалок, испытание оснастки, установка мачт, лебедок. Применение кранов уменьшает продолжительность работ в 5—10 раз, повышает производительность труда в 3—5 раз по сравнению с мачтовыми подъемниками, поэтому мачты целесообразно использовать в тех случаях, когда неприменимы краны, например при установке тяжелых аппаратов на высокие постаменты. Основным грузоподъемным средством, наиболее часто используемых в монтажных управлениях, являются пневмоколесные и гусеничные краны грузоподъемностью 200—250 кН. На реконструкции в стесненных условиях монтажа в основном применяются лебедки. Лебедки и краны позволяют вести монтаж оборудования малого и среднего веса. Мачты и порталы используются реже, в основном для монтажа тяжеловесных колонных аппаратов, доля которых в общем количестве аппаратуры невелика.

Пневмоколесные и гусеничные краны различаются между собой ходовой частью. Краны на пневмоколесном ходу имеют ограниченную грузоподъемность при передвижении с грузом из-за низкого давления воздуха в камерах колес. По этой причине краны на гусеничном ходу имеют преимущество перед пневмоколесными кранами.

По грузоподъемности краны делятся на легкие (грузоподъемностью до 100 кН), средние (грузоподъемностью 100—250 кН) и тяжелые (грузоподъемностью более 250 кН).

Рабочее оборудование крана выполняется в виде прямой стрелы, прямой стрелы с гуськом, телескопической раздвижной стрелы. Гуськом называется дополнительная короткая стрела, присоединяемая к оголовку основной стрелы и позволяющая увеличить вылет крюка. Стрела оснащается грузовым полиспастом и крюком для подъема груза. Подъем и опускание груза осуществляется главной лебедкой, подъем и опускание стрелы — стрелоподъемной лебедкой. Вращение поворотной платформы крана осуществляется с помощью поворотного механизма.

Грузоподъемность крана определяется как вес наибольшего груза, который может быть поднят краном при сохранении необходимого запаса устойчивости и прочности его конструкции. Груз наибольшего веса кран поднимает при наименьшем вылете крюка. При увеличении вылета крюка грузоподъемность крана падает по сравнению с паспортной грузоподъемностью. Вылетом крюка называется расстояние между вертикальной осью вращения поворотной платформы и вертикальной осью центра крюковой обоймы (или центра тяжести поднимаемого груза).

Величина произведения веса груза на расстояние от центра тяжести груза до грани опрокидывания называется опрокидывающим моментом. Восстанавливающим моментом является произведение восстанавливающей силы от веса крана на расстояние от центра тяжести крана до грани опрокидывания. Устойчивость крана обеспечивается тем, что восстанавливающий момент превышает опрокидывающий момент. Отношение этих моментов называется коэффициентом устойчивости крана. Важным эксплуатационным параметром стреловых кранов является их приспособленность к перебазированию с объекта на объект. Продолжительность перебазирования складывается из продолжительности приведения в транспортное состояние, собственно перебазирования и последующего приведения в рабочее состояние. Малое время на перевод из рабочего в транспортное состояние требуется для кранов с телескопическими, выдвигаемыми и складываемыми стрелами. Большинство же кранов требует большого времени на демонтаж и разборку стрел. Гусеничные краны обладают хорошей проходимостью и маневренностью и могут передвигаться с грузом на крюке. Удельное давление на грунт невелико, поэтому эти краны применимы для работы на влагонасыщенных грунтах. Скорость движения гусеничных кранов невелика,

вследствие чего их перебазировывают или на трейлерах или по железной дороге. Если расстояние до места перебазирования не превышает 10 км и покрытие дороги допускает движение гусеничной машины, кран перебазировуется собственным ходом. Краны грузоподъемностью 250 кН и выше передвигаются со скоростью 0,7 км/ч.

Пневмоколесные краны имеют выносные опоры с винтовыми или гидравлическими домкратами. Кран может работать и без выносных опор, но с меньшей грузоподъемностью. На монтажной площадке краны перемещаются самостоятельно, а при перебазировании буксируются в прицепе к тягачу или по железной дороге. На расстояние до 50 км краны могут перемещаться собственным ходом со скоростью 1,5—7,0 км/ч.

Пневмоколесные краны также являются мобильными и маневренными. Для сравнения можно отметить, что стреловые краны на железнодорожном ходу (башенные краны) имеют очень ограниченное применение при монтаже оборудования из-за привязанности к железнодорожному пути и, как следствие, ограниченной мобильности. Автомобильные краны имеют невысокую грузоподъемность (50—160 кН), но очень мобильны и маневренны. Скорость их передвижения при перебазировании 30—50 км/ч.

К новым моделям относятся краны с телескопическими стрелами, имеющие возможность изменения длины стрелы с грузом на крюке. Это позволяет осуществлять подачу груза в монтажной проем и увеличить зону обслуживания объекта с одной стоянки крана, что весьма существенно при работе в стесненных условиях, например между сеткой колонн строящегося цеха, под перекрытиями, в одноэтажных зданиях, этажерках. Краны с телескопическими стрелами имеют приспособление для транспортировки груза как на крюке крана, так и на шасси крана. Все колеса таких кранов — ведущие. К достоинствам этих кранов относятся также малые затраты труда при переводе крана в рабочее или транспортное положение.

Стрела крана — телескопическая, многосекционная, чаще двухсекционная. Обе части — основание и выдвигная секция — коробчатого сечения. Фиксация перемещения выдвигной секции стрелы может быть выполнена в любом промежуточном положении. Гидроцилиндр, обеспечивающий вывод подвижной секции, находится внутри стрелы.

Привод гидравлических насосов осуществляется от двигателя автомобиля через раздаточную коробку или от электропривода с питанием от внешней сети (при работе на монтажной площадке). Подъем и опускание стрелы выполняются вторым гидроцилиндром. Гидравлические опоры обеспечивают установку крана в горизонтальное положение на площадке с уклоном до 3°.

Тяжелые монтажные краны имеют многоосные шасси с несколькими приводными и несколькими управляемыми осями. На шасси устанавливаются поворотные-выдвигные опоры. Краны снабжаются короткой стрелой для погрузо-разгрузочных работ, длин-

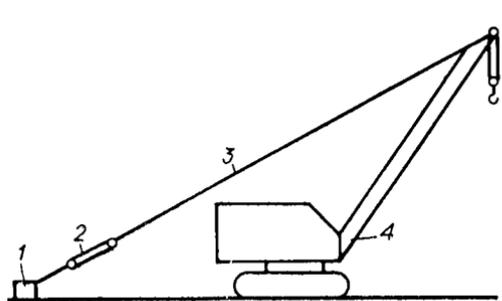


Рис. 8.8. Кран с расчлненной стрелой:  
1 — якорь; 2 — полиспаст расчалки; 3 — расчалка; 4 — кран

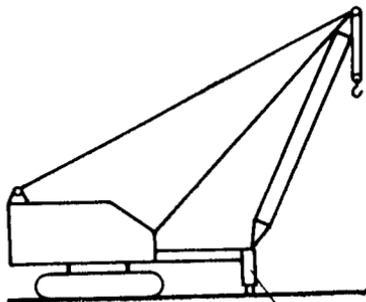
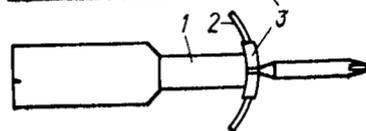


Рис. 8.9. Опорно-поворотное устройство:  
1 — соединительная рама; 2 — секционный путь; 3 — опорно-поворотный механизм.



ной стрелой и стрелой с гуськом — для подъема аппаратов. При увеличении длины стрелы и угла наклона стрелы от вертикали грузоподъемность крана снижается, поэтому на монтажных работах полезная грузоподъемность стреловых кранов составляет только 25—30% максимальной паспортной грузоподъемности. Однако для преодоления этого недостатка разработан ряд способов, позволяющих не только сохранить, но и повысить паспортную грузоподъемность крана. К числу этих способов относятся: 1) временное расчлнение стрелы крана; 2) вынесение стрелы на временное опорно-поворотное устройство; 3) установка на кране передвижных противовесов, балансирующих грузовой момент; 4) опирание стрел двух кранов на ригель; 5) опирание стрел на опорные стойки; 6) наклон грузового полиспаста в сторону стрелы.

Временное расчлнение стрелы (рис. 8.8) сохраняет возможность маневрирования, т. е. подъема и опускания груза, изменения вылета крюка, поворота платформы с грузом на крюке, и обеспечивает увеличение грузоподъемности по сравнению с паспортной на 20—100%. Временное расчлнение стрелы может быть маневренным и неманевренным. Неманевренное расчлнение обеспечивает возможность только поднимать груз и изменять вылет стрелы, маневренное позволяет дополнительно осуществлять поворот платформы с грузом на крюке на угол 130—150°. Вынесение стрелы на временную опору — тележку (рис. 8.9) на рельсовом или пневмоколесном ходу также позволяет поднимать аппараты с весом, превышающим паспортную грузоподъемность крана.

Опорно-поворотный механизм состоит из двух тележек, соединенных балансиром, каждая из которых имеет раму и два колеса. Этот механизм соединяется с поворотной платформой крана с помощью рамы и движется по секционному круговому пути, обеспечивая при необходимости поворот крана на 360°.

Передвижные противовесы, служащие для повышения устойчивости крана, закрепляются на рычаге, соединенном шарнирно с

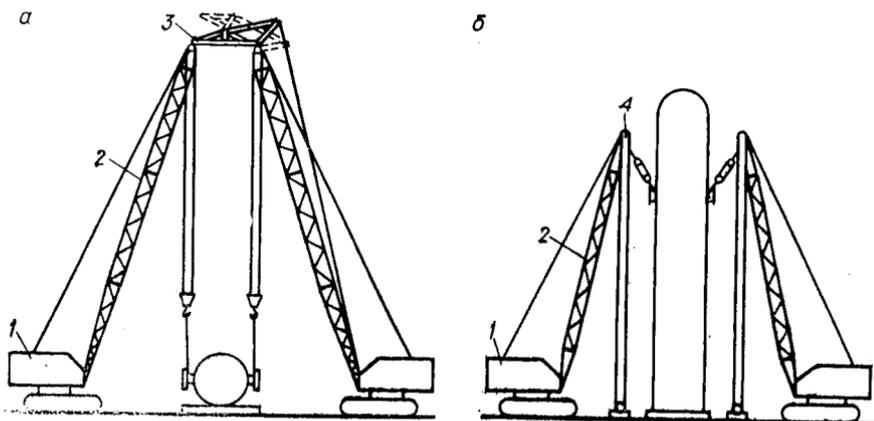


Рис. 8.10. Подъем аппарата спаренными кранами:  
 а — с соединением стрел ригелем; б — с опоранием стрел;  
 1 — кран; 2 — стрела крана; 3 — ригель; 4 — опорная стойка.

платформой крана и связанном с грузовым канатом и стрелой крана.

При опирании стрел двух кранов на ригель (рис. 8.10, а) потеря устойчивости кранов в плоскости расположения стрел исключается. Плоскость подъема аппарата располагается перпендикулярно плоскости расположения стрел. Для того чтобы исключить появление дополнительных усилий на краны, место строповки аппарата располагается строго на оси фундамента, совпадающей с плоскостью расположения стрел кранов.

Ригель, укрепленный на оголовке одной из стрел, после сближения оголовков стрел на расстояние, меньшее на 0,5 м, чем длина ригеля, опускается на оголовок второй стрелы. При раздвижке оголовков путем уменьшения вылета стрел осуществляется соединение ригеля с оголовком второй стрелы. После того как ригель пазами попадет на дополнительную ось, укрепленную на оголовке стрелы второго крана, стреловые полиспасты ослабляются, а подъем осуществляется грузовыми полиспастами. При подъеме не допускается отклонение грузовых полиспастов от вертикали более, чем на  $1^\circ$ , поэтому при подъеме опорная часть аппарата перемещается лебедкой к фундаменту, т. е. к плоскости расположения стрел кранов. После монтажа аппарата стреловые полиспасты кранов натягиваются, лебедкой вспомогательного подъема ригель поднимается и выводится из зацепления с оголовком стрелы второго крана.

При опирании стрел кранов на опорные стойки (рис. 8.10, б) грузоподъемность кранов превышает паспортную в полтора раза. В качестве опорных стоек используются шевры. Для уменьшения просадки грунта под шевры укладываются инвентарные щиты или шпалы. Подъем аппарата осуществляется при натянутых стреловых полиспастах. При натяжении стреловых полиспастов проводится подъем шевров таким образом, чтобы между основанием шевров и

опорной поверхностью образовался зазор 30 мм. Этот зазор после нагружения шевра позволяет передать часть нагрузки на стрелу крана. При подъеме опорная часть аппарата подтягивается с помощью лебедки и тягового полиспаста.

Последние два метода применимы при подъеме аппаратов только методом скольжения. Наклон грузового полиспаста в сторону стрелы уменьшает опрокидывающий момент, вследствие чего этим способом возможен подъем аппаратов весом, превышающим грузоподъемность крана в 2—3 раза. Подъем аппарата осуществляется поворотом вокруг шарнира в результате последовательных включений грузового полиспаста и опускания стрелы (рис. 8.11). Для подъема аппарата на высоту необходимо около 10—15 циклов подъема аппарата и опускания стрелы, что предварительно определяется путем графоаналитического расчета. В точке неустойчивого равновесия включается в работу тормозная оттяжка. Возникающая при этом способе подъема горизонтальная сила, стремящаяся сдвинуть кран, по величине оказывается небольшой, и сдвиг не происходит. Подъем высоких аппаратов этим способом возможен при использовании двух кранов и балансирной траверсы. Сначала аппарат приподнимается за верх для установки траверсы. После опускания аппарата и строповки грузовых полиспастов за траверсу подъем ведется по рассчитанной циклограмме с контролем наклонов аппарата, стрел и подъемных полиспастов.

**Мачтовые подъемники.** Мачтовые подъемники являются наиболее распространенным средством монтажа любых тяжеловесных крупногабаритных аппаратов, устанавливаемых на любой высоте, в том числе на высоких фундаментах и постаментах. Как универсальное средство монтажа мачтовые подъемники выпускаются определенных типоразмеров грузоподъемностью от 200 до 5000 кН. С их помощью выполняются все вспомогательные операции. На базе мачтовых подъемников могут быть изготовлены порталы и шевры.

Монтажная мачта, оснащенная лебедкой и полиспастом и удерживаемая в устойчивом положении расчалками, используется для монтажных работ в тех случаях, когда отсутствуют краны необходимой грузоподъемности. Металлические мачты могут быть трубчатой или решетчатой конструкции (рис. 8.12). Грузоподъемность

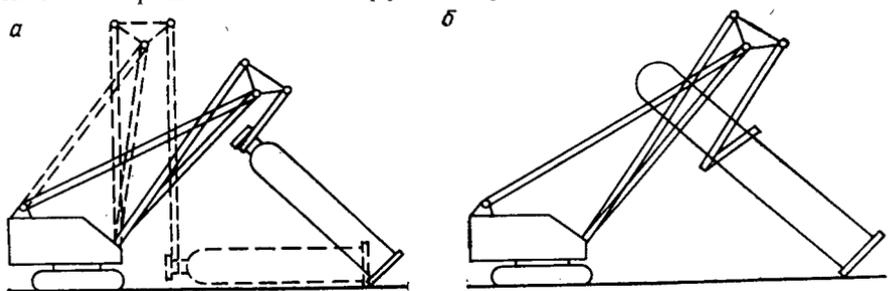


Рис. 8.11. Подъем с наклоном полиспаста в сторону стрелы:  
а — низкого аппарата одним краном; б — высокого аппарата двумя кранами.

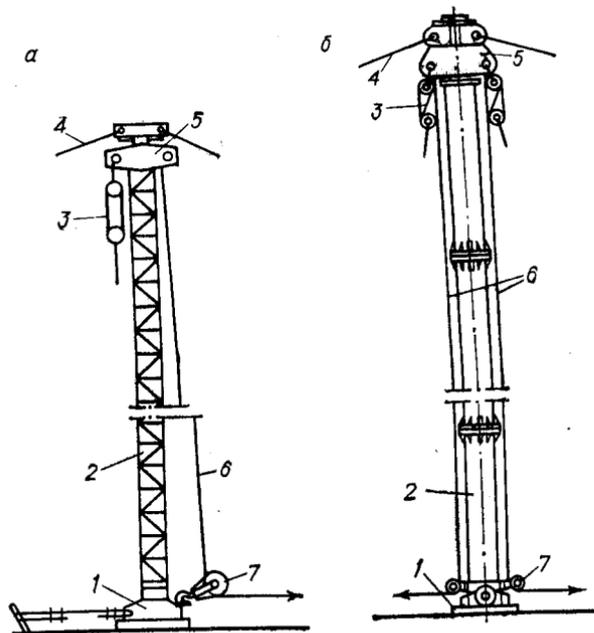


Рис. 8.12. Монтажные мачты:

а — решетчатая; б — трубчатая;

1 — опорная плита; 2 — мачта; 3 — полиспаст; 4 — расчалка; 5 — оголовок; 6 — сбегающий канат полиспаста; 7 — отводный блок.

мачт зависит от их высоты и от размеров труб и уголков, использованных для изготовления мачты.

В вертикальном или наклонном положении мачта удерживается с помощью расчалок. Расчалки одним концом крепятся к оголовку мачты, другим — за якоря. Расчалок должно быть не менее трех. Угол наклона расчалок к горизонту для обеспечения устойчивости мачты не должен превышать  $45^\circ$ . Поскольку якорь должен находиться вне опасной зоны, длина расчалок обычно превышает длину мачты в 1,5 раза. Если необходима передвижка мачт, наклон расчалок мачт к горизонту не должен превышать  $30^\circ$ .

Оголовок мачты служит для крепления расчалок и полиспаста, основание мачты — для создания опоры (неподвижной или поворотной) и установки отводного блока. Расчалки крепятся к проушинам, приваренным к оголовку мачты. Оголовок может быть вращающимся и неподвижным. Грузовой полиспаст крепится к оголовку через штырь, вваренный в трубу мачты, или за ось в листовых щеках оголовка. Сбегающий канат полиспаста отводится от мачты через отводной блок, расположенный у основания мачты. Основание мачты расчлаивается для предотвращения сдвига мачты.

Трубчатые мачты изготавливаются из труб диаметром более 400 мм, решетчатые мачты — из уголков, соединенных раскосами. Разборные мачты состоят из отдельных секций, соединяемых флан-

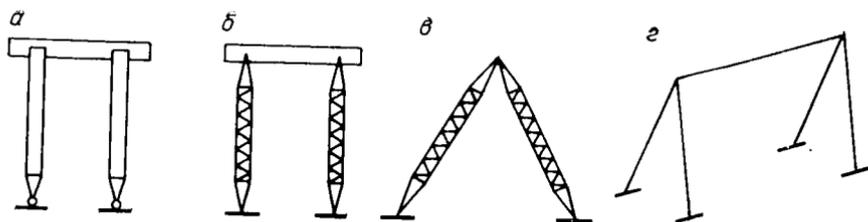


Рис. 8.13. Схемы порталов:  
 а — трубчатый портал; б — решетчатый портал; в — А-образный подъемник; г — подъемник козлового типа.

цами. Это позволяет менять высоту мачты. При увеличении высоты грузоподъемность мачты снижается.

Для наклона мачт предусматривается шарнирная опора. Используются также поворотные опоры, позволяющие осуществлять поворот мачты с грузом на  $180^\circ$ . В этом случае на расчалках мачты устанавливаются полиспасты, дающие возможность изменять длину расчалок при наклоне и повороте мачты. Низ мачты при этом крепится на горизонтальном шарнире в башмаке, который в свою очередь крепится вертикальным шарниром к фундаменту. Поворот мачты осуществляется только в наклонном положении. Шаровые опоры мачт применяются для возможности монтажа самой мачты методом поворота вокруг шарнира.

Портал имеет П-образную форму (прямоугольная плоская рама). Якоря и расчалки, удерживающие портал при его наклоне, находятся в плоскости качания. Устойчивость портала позволяет обходиться без боковых расчалок. С помощью портала можно поднимать аппараты, перемещать их в плоскости портала и устанавливать на постаменты, находящиеся не в плоскости портала.

На рис. 8.13 представлены конструкции порталов. Трубчатые порталы П-образного типа изготавливаются из труб диаметром 1400 мм и более. Ригель решетчатого портала и порталного подъемника козлового типа тоже изготавливается из трубы. А-образный подъемник называется шевром. Кроме грузового полиспаста шевр оснащается отводным блоком и тяговым полиспастом,

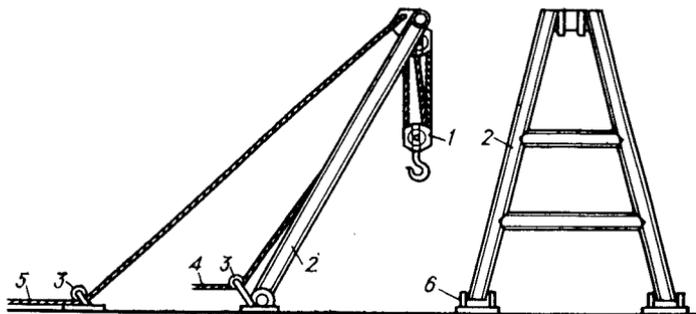


Рис. 8.14. Схема шевра:  
 1 — грузовой полиспаст; 2 — шевр; 3 — отводной блок; 4 — ветвь грузового полиспаста; 5 — канат для измерения наклона шевра; 6 — шарнирная опора.

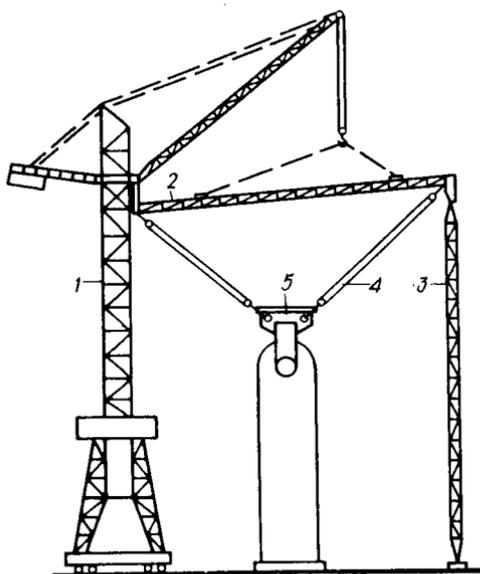


Рис. 8.15. Приставка к башенному крану:  
1 — башенный кран; 2 — ригель; 3 — мачта;  
4 — полиспаст; 5 — траверса.

оборудования, размещаемого на втором этаже, и т. д.

Монтаж тяжеловесных аппаратов может осуществляться с помощью Г-образной приставки к башенному крану (рис. 8.15). Приставка состоит из ригеля, прикрепляемого шарнирно к башне крана и мачте, и вертикальной мачты, опирающейся шаровой опорой на подпятник башмака. Шарнирные опоры позволяют приподнимать приставку при перемещении крана к месту монтажа очередного аппарата.

Грузовые полиспасты прикрепляются к трубным подвескам, находящимся на концах ригеля. Сбегающие нитки полиспастов направляются вниз на грузовые лебедки через отводные ролики на ригеле и через отводные ролики на верхней части мачты. Монтируемый аппарат подвешивается к грузовым полиспастам с помощью траверсы. Оголовок мачты расчленивается двумя боковыми расчалками, а кран закрепляется противоугонными устройствами. Стреловое оборудование крана используется для монтажа приставки и для подъема приставки при перебазировании крана, а башня крана выполняет роль опоры своеобразного портала, образованного башней, ригелем и мачтой. Г-образное приспособление к башенному крану позволяет поднимать аппараты весом, превышающим грузоподъемность башенного крана в два раза.

К мачтовым подъемникам относится также гидроподъемник (рис. 8.16). Основными элементами гидроподъемника являются две стойки, по которым перемещаются шагающие гидравлические подъемные механизмы, и траверса. В верхней части каждая стойка

служащим для изменения наклона шевра (рис. 8.14).

Удельная металлоемкость монтажных мачт большой высоты и грузоподъемности равна 0,25—0,35, а порталов — 0,33—0,37 т. е. вес мачт составляет  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$  от веса поднимаемого оборудования или грузоподъемности мачты. Высота мачт колеблется в пределах 0,75—1,15 высоты аппаратов на постаменте.

Башенные краны применяются для монтажа оборудования при поточно-совместном методе выполнения строительных и монтажных работ. Сначала проводится монтаж первого этажа здания и оборудования, размещаемого на первом этаже, затем монтаж второго этажа здания и обо-

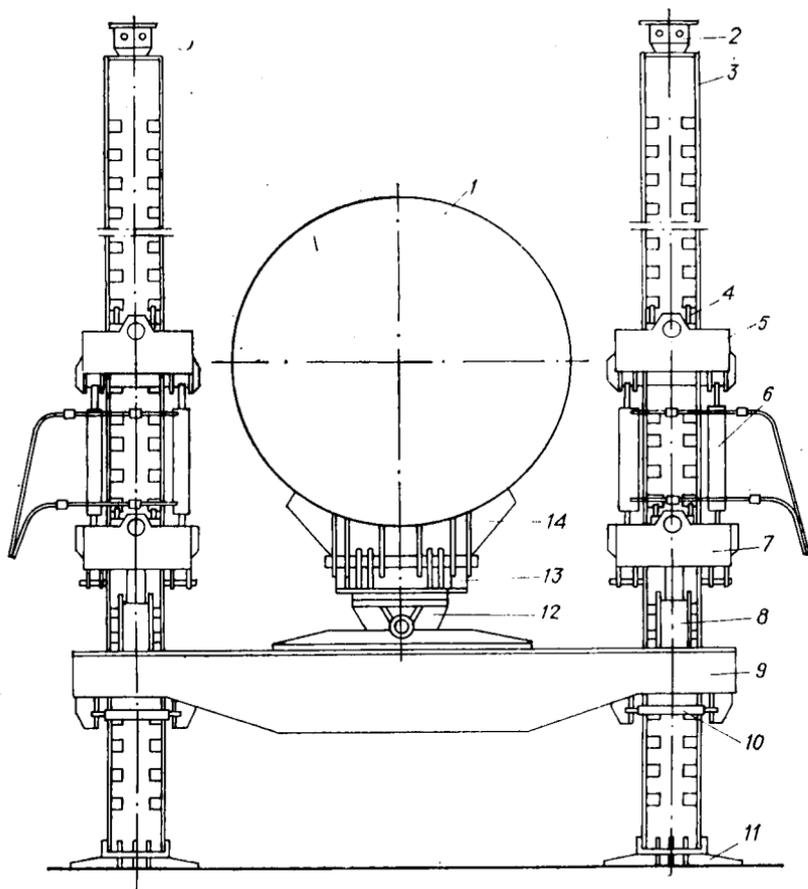


Рис. 8.16. Гидроподъемник:

1 — аппарат; 2 — оголовок; 3 — стойка; 4 — кулачок; 5 — верхняя каретка; 6 — гидроцилиндр; 7 — нижняя каретка; 8 — тяга; 9 — траверса; 10 — ролик; 11 — шарнирная опора; 12 — балансир; 13 — промежуточная опора; 14 — шарнирная опора.

имеет оголовки для крепления расчалок, а в нижней части — шарнирную опору для возможности наклона стойки. По всей высоте стойки с двух сторон располагаются окна, служащие для опирания кулачков кареток. Сами стойки изготавливаются в виде сварной листовой конструкции прямоугольного сечения с несколькими разрезами, позволяющими разбирать стойку на транспортабельные секции.

Каретки представляют собой сварные рамы, охватывающие стойки. Для свободного перемещения вдоль стойки каретка расположена с зазорами со всех четырех сторон. Центровка каретки относительно стойки осуществляется восемью роликами, укрепленными на кронштейнах, установленных на верхней и нижней

гранях каретки. Каждая каретка имеет четыре кулачка, удерживающих ее на стойке вместе с поднимаемым аппаратом благодаря опиранию кулачков на срезы окон стоек. При подъеме аппарата специально выделенные рабочие наблюдают за заходом кулачков в окна стоек. Заход кулачков в окна стоек может также контролироваться зажиганием лампочек, соединенных с электрическими контактами, смонтированными на кулачках. Верхняя и нижняя каретки соединяются четырьмя гидроцилиндрами. Масло к гидроцилиндрам подводится от насосных станций по гибким шлангам под давлением 20 МПа. Поочередное перемещение кареток осуществляется переключением золотников и подачей масла в верхнюю или нижнюю полость цилиндров. Нижняя каретка через тягу соединяется с траверсой. На траверсе укреплен балансир, имеющий ось вращения, параллельную оси аппарата. Балансир через поперечную опору крепится к шарнирной опоре, ось которой перпендикулярна оси балансира. Таким образом, взаимно перпендикулярные оси балансира и шарнирной опоры обеспечивают передачу равномерных нагрузок на стойки гидроподъемника. Применение гидроподъемника позволяет в 2—3 раза уменьшить объем подготовительных работ по сравнению с использованием мачт, однако перестановка гидроподъемника требует полного его демонтажа.

**Средства малой механизации.** В процессе монтажа выполняется большое количество трудоемких слесарных работ. Половина всех рабочих-монтажников занята на операциях, выполняемых вручную, поэтому повышение производительности труда неразрывно связано с механизацией трудоемких ручных операций. Эта проблема настолько серьезна, что в проект производства работ включается раздел — малая механизация монтажных работ. При выполнении монтажных работ используются механизированный инструмент и средства малой механизации как серийного производства, так и создаваемые в монтажных организациях. Ручной механизированный инструмент позволяет повысить производительность труда при выполнении следующих работ: 1) затяжка болтов — электрогайковерт, пневмогайковерт, ключ-мультипликатор, специальная гидравлическая установка; 2) нарезка резьб — резьбонарезная машина; 3) райберовка (развертка) отверстий — сверлильная машина или пневмогайковерт с приспособлением для развертывания отверстий; 4) зачистка сварных швов — электрошлифовальная машинка, пневмошлифовальная машинка, реверсивная пневмощетка; 5) планировка мест под подкладки на фундаменте — электромолоток; 6) резка металла — электроножницы; 7) удаление коррозии, очистка окрашенных мест — реверсивная пневмощетка; 8) резка труб, снятие фасок — станок с абразивным кругом.

Механические ключи целесообразно использовать в тех случаях, когда подводка электроэнергии или сжатого воздуха к отдельным участкам монтажной площадки невозможна либо экономически нецелесообразна. Механические ключи позволяют увели-

чивать (мультиплицировать) прилагаемое к ним усилие. Основой механизма ключей-мультипликаторов является малогабаритный планетарный зубчатый редуктор с малой разницей числа зубьев подвижной и неподвижной шестерен, размещенных в корпусе ключа. Ключ-мультипликатор (КМ) состоит из корпуса с внутренней нарезкой зубьев, имеющего реактивный (опорный) рычаг, входного вала и сателлита, на котором укреплен рабочая головка, надеваемая на закручиваемую гайку.

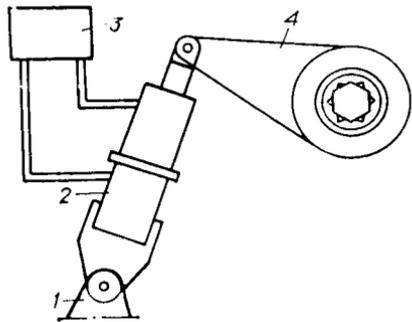


Рис. 8.17. Гидравлический ключ:  
1 — опора; 2 — гидrocилиндр; 3 — насосная станция; 4 — головка ключа.

Кроме ключей-мультипликаторов разработаны увеличители крутящего момента (УКМ), которые в отличие от ключей типа КМ имеют в корпусе сквозное отверстие для выхода удлиненной резьбовой части болта, что встречается наиболее часто при затяжке фундаментных болтов.

Наиболее распространенные значения крутящего момента, необходимые при затяжке резьбовых соединений, составляют 30—8000 Н·м. Величина усилия, прилагаемого рабочим к рукоятке ключа, не должна превышать 200 Н для того, чтобы эта работа выполнялась с небольшими затратами физической энергии. При таком усилии ключи-мультипликаторы позволяют создавать крутящий момент в диапазоне 400—12000 Н·м. Трещоточные ключи применяются для затяжки резьб в труднодоступных местах; они имеют встроенный в головку трещоточно-храповой механизм с незначительным углом подготовительного хода и механизм фиксации крутящего момента.

Для затяжки резьбовых соединений, в частности фундаментных болтов с контролируемым усилием применяются гидравлические ключи (рис. 8.17). Опора ключа является съемной и может иметь любую конфигурацию (в зависимости от конкретных условий передачи реактивной силы ключа).

Для эффективного использования механизированного инструмента организуется группа обслуживания и ремонта средств механизации ручного труда, сооружается кладовая с удобными стеллажами и учетной документацией, проводится обучение рабочих безопасным методам работы с механизированным инструментом. Группа обслуживания и ремонта организует эксплуатацию и ремонт средств малой механизации, проверку электрических ручных машин на отсутствие замыкания, состояние изоляции, состояние заземляющей жилы. Средства механизации труда непрерывно совершенствуются. Устаревший инструмент списывается и заменяется новым. В разработку средств механизации вносят свой вклад рационализаторы и новаторы. Изготовление вновь разрабо-

танного рационализаторами механизированного инструмента возлагается на группу обслуживания средств механизации. Для подключения средств малой механизации требуются понижающие трансформаторы, преобразователи частоты тока, питающие кабели, штепсельные разъемы, шланги различного сечения, переходные штуцера, компрессор. На подготовку, установку и настройку трансформаторов, преобразователей, компрессора, а также на их подключение, заземление, подключение инструмента, перенос на другое место и т. д. уходит много времени. Для устранения этого недостатка оборудуются передвижные посты, позволяющие осуществлять работы механизированным инструментом в радиусе 60—80 м.

Механизация сварочных работ предполагает централизованную разводку ацетилена, кислорода, сжатого воздуха, углекислого газа в центральных заготовительных мастерских, применение газорезательных машин, полуавтоматов для сварки в среде защитных газов, разработку и использование поворотных устройств для установки сварочных полуавтоматов. Для таких операций, как снятие и установка изделий в приспособление при их обработке, а также для выполнения погрузо-разгрузочных операций разрабатываются стационарные или передвижные манипуляторы с механической рукой. Один манипулятор способен заменить двух рабочих, выполнявших тяжелую работу в стесненных и опасных условиях. Манипуляторы обладают высокой маневренностью и управляются оператором. Находят также применение манипуляторы с программным и дистанционным управлением.

## 8.2. ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ

К числу наиболее часто выполняемых при монтаже работ относятся сборка блоков, транспортировка оборудования и материалов, установка мачт, подъем аппаратов.

Для резки канатов применяются разнообразные станки. Общим для всех конструкций является обязательный зажим каната и наличие направляющих для ножа. Усилие на нож может передаваться ударами кувалды, рычагом, пневмо- или гидроцилиндром. Фиксация троса в приспособлении для резки проводится на призмах, втулках, желобе. Предварительно с двух сторон от места реза канат перевязывается отоженной стальной проволокой. Длина перевязки должна быть равна 1,5—2 диаметрам каната. Расстояние между осями перевязок принимается равным 3—4 диаметрам каната.

Гильотинные ножницы служат для резки канатов малого диаметра (до 15 мм). Усилие на нож создается ударом кувалды. Резка канатов большого диаметра осуществляется газовым резаком или на специальных станках с быстровращающимися стальными или абразивными дисками. Резка канатов осуществляется также на

стыковочной сварочной машине, где отрезок каната, устанавливаемый между подвижными клеммами, нагревается, а затем свободно разрывается. Одновременно с разрушением нагретого каната проводится сварка концов проволок, в результате чего отсутствует распушение конца каната и отпадает необходимость надевания гильзы на конец каната.

При изготовлении облегченных и универсальных стропов обжатие стальных и алюминиевых гильз, устанавливаемых в месте сплетки, осуществляется на гидроустановке методом их продавливания разъемными пуансонами через волок. Деформирование наружной поверхности гильзы в волоке, а также продольная осадка пуансоном создает надежное затекание материала гильзы между проволоками и прядями канатов и высокую поверхность сцепления, определяющую прочность закрепления каната в обжимной гильзе.

Технологический процесс изготовления тягового элемента с концевыми петлями, закрепленными обжимными гильзами из мягкой стали или алюминиевого сплава, включает следующие операции: 1) отрезка каната; 2) изготовление петли на коуше; 3) оплетка наложенных внахлестку ветвей каната мягкой тонкой проволокой; 4) надевание отрезка цилиндрической трубы (гильзы) на ветви каната; 5) опрессовка гильзы в волоке; 6) испытание тягового элемента с петлями. Для испытания канатов используются разнообразные приспособления, в которых нагрузка на канат создается пневмо- или гидроцилиндром. Схема простейшего приспособления представлена на рис. 8.18. Более сложную конструкцию имеет стенд для испытания всех такелажных механизмов и приспособлений (стропы, предохранительные пояса, тали, домкраты). Основными механизмами стенда являются лебедка, полиспаст, динамометр.

Запасовка полиспастов выполняется следующим образом. Блоки полиспаста закрепляются на дощатом настиле при расстоянии между осями блоков примерно 1,2 м. В блоки вручную запасовывается вспомогательный канат диаметром 6 мм. Один конец вспомогательного каната соединяется с лебедкой, а второй с основным канатом. С помощью

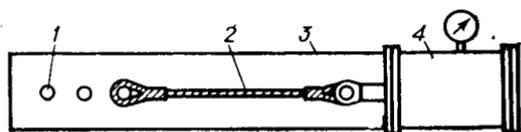


Рис. 8.19. Приспособление для определения массы груза:  
— серьга; 2 — шток; 3 — манометр; 4 — цилиндр; 5 — поршень; 6 — проушина; 7 — груз.

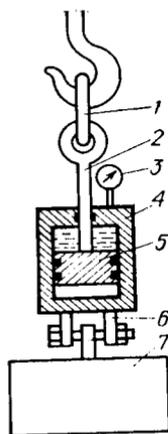


Рис. 8.18. Стенд для испытания канатов:  
1 — штырь; 2 — канат; 3 — рама; 4 — пневмоцилиндр.

лебедки проводится запасовка в полиспасть основного каната, после чего вспомогательный канат отсоединяется, глухой конец основного каната крепится к одному из блоков полиспаста, с помощью трактора (лебедки) осуществляется растягивание полиспаста за один из блоков на необходимую длину.

Резка абразивными кругами удобна при монтаже, так как этот способ обладает высокой производительностью, хорошим качеством получаемых поверхностей, применим для резки любых марок сталей и любой геометрии изделий. Резка осуществляется на стационарном абразивно-отрезном станке. Резке подвергаются в основном трубы. Армированные абразивные круги представляют собой полимерную композицию на основе бакелитовой связки, упрочненную стеклосеткой и частицами абразива (карбид кремния, электрокорунд). Размеры кругов  $500 \times 5 \times 32$ ,  $400 \times 4 \times 32$ ,  $300 \times 3 \times 32$ ,  $230 \times 3 \times 22$ ,  $180 \times 3 \times 22$ . Цифры соответственно обозначают наружный диаметр, толщину и посадочный диаметр (в мм).

Приспособление для определения веса грузов (рис. 8.19) представляет собой гидроцилиндр с поршнем и штоком. В нижней части гидроцилиндра имеет две проушины для подвески груза. В верхней части установлен манометр, а шток связан с серьгой, служащей для подвески приспособления на крюке грузоподъемного механизма. Величина груза определяется по показаниям манометра. Предварительная тарировка манометра позволяет выразить его показания непосредственно через вес груза.

Для стыковки элементов аппаратуры перед сваркой применяются различные сборочные приспособления: трубки, прижимы, скобы, стяжки, распорки. Совмещение стыкуемых обечаяек осуществляется с помощью направляющих планок (рис. 8.20), скосы которых обеспечивают соосное соединение торцов обечаяек. Приварная винтовая трубка позволяет совмещать свариваемые кромки. Стяжное приспособление служит для регулировки зазоров между свариваемыми обечайками. Для стыковки блоков колонной аппаратуры используются ловители из уголка, привариваемые к нижнему блоку. Один из вариантов такого ловителя представлен на рис. 8.12, а. После монтажа блока ловители срезаются, а место среза зачищается. Зазор между кромками блоков обеспечивается установкой специальных зазорников.

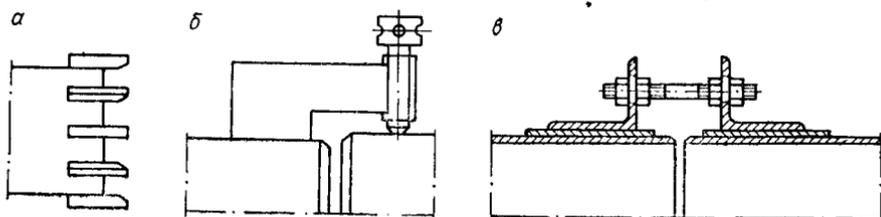


Рис. 8.20. Приспособления для подгонки стыков: а — направляющие планки; б — приварная трубка; в — болтовое стяжное приспособление.

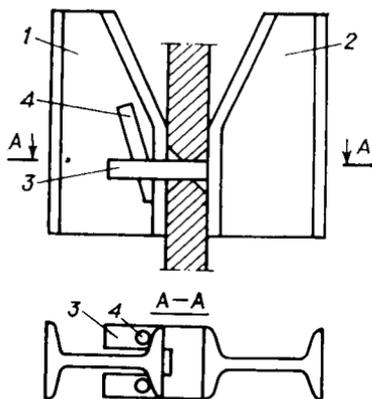
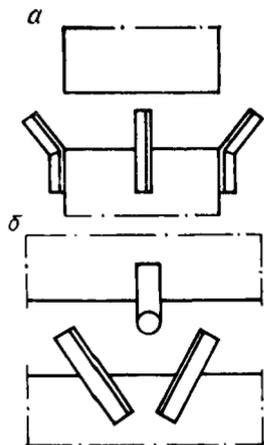


Рис. 8.21. Приварной ловитель.

Рис. 8.22. Съемный ловитель:  
1, 2 — направляющие; 3 — планка; 4 — клин.

На рис. 8.22 представлен съемный ловитель, состоящий из двух направляющих 1 и 2, соединительной планки 3 и двух клиньев 4. Направляющие изготавливаются из отрезков двутавра, одна из полок которого отогнута за счет выреза. Соединительная планка 3 приварена к направляющей 1 и имеет паз и два отверстия для клиньев. Направляющая 2 имеет в одной полке прорези для свободного прохода соединительной планки. Зазор между кромками блоков устанавливается автоматически за счет толщины соединительной планки (5—6 мм). После сборки блоков клинья выбиваются, снимается направляющая 2 и ударами по соединительной планке направляющая 1 выбивается временно внутрь аппарата. Съемный ловитель может использоваться многократно и исключает необходимость зачистки места среза.

Помимо совпадения кромок при монтаже блоков необходимо выдержать совпадение плоскостей, в которых располагаются патрубки. С этой целью для разворота устанавливаемого блока используется ловитель, показанный на рис. 8.21, б. Стыковка элементов, поднимаемых вертолетом, осуществляется тремя тросами, которые натягиваются лебедками, установленными на земле.

При с в а р к е металлоконструкций в процессе изготовления монтажных заготовок наиболее трудоемкой операцией является поворот металлоконструкции. Для обеспечения этой операции используется цепной стэнд-вращатель (рис. 8.23), состоящий из рамы, четырех стоек, двух цепей и шести звездочек. Каждая пара стоек имеет по две звездочки в верхней части и одну приводную звездочку в нижней части. Приводные звездочки соединены общим валом и получают вращение от электродвигателя. Подобный стэнд облегчает условия труда и повышает производительность труда при изготовлении металлоконструкций решетчатого типа. Для

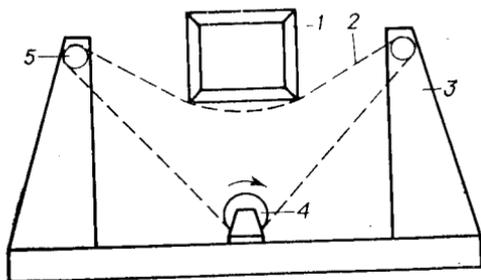


Рис. 8.23. Стенд-вращатель:

1 — металлоконструкция; 2 — цепь с провисанием; 3 — стойка; 4 — приводная звездочка; 5 — звездочка стойки.

поворота цилиндрических аппаратов применяется кантователь с роликовыми опорами. При кантовке плоских рам используется вращатель в виде двух дисков, к центральной части которых крепится рама. При сварке внутренних швов аппаратов большого диаметра и небольшой высоты применяются деревянные многоярусные подмости или металлические карусельная люлька (рис. 8.24). В аппарате соосно устанавливаются труба диаметром примерно 100 мм, опирающаяся в нижней части на подпятник, а в верхней части — на временный фланец. На осевой трубе сверлятся по высоте несколько отверстий для фиксации положения люльки по высоте и периметру аппарата с помощью штырей. Эти штыри служат одновременно для подъема и спуска сварщика. Рабочая площадка поднимается и опускается через верхний штуцер аппарата.

Для термообработки стыков в монтажных условиях используются медные индукторы при индукционном нагреве или змеевидные пояса из нихромовой полосовой стали при контактном нагреве.

При транспортировке листового металла по земле для исключения повреждения транспортируемого металлического листа и дорожного покрытия используются салазки, показанные на рис. 8.25.

Механические грузозахватные приспособления для переноски листового металла позволяют переносить листы в вертикальном положении, обеспечивают удобство и безопасность при работе со скользкими листами, имеющими острые кромки и значительный вес. Лист зажимается между губкой захвата и эксцентриком, имеющими насечку. Эксцентриковый кулачок при подъеме надежно прижимает лист к губке.

Для подъема грузов с плоской непористой поверхностью используются вакуумные подъемники. Вакуум создается при перемещении поршня. Грузоподъемность таких устройств зависит от площади соприкосновения и создаваемого вакуума.

При переноске вручную стекла, пластмасс, металлических листов используются захваты с вакуумными присосками. Захват прижимается к грузу, а наклонный рычажок, связанный с поршеньком, поворачивается. Образующееся разрежение удерживает груз.

Подъем гибких конструкций осуществляется с применением приспособлений, препятствующих возникновению в элементах остаточных деформаций.

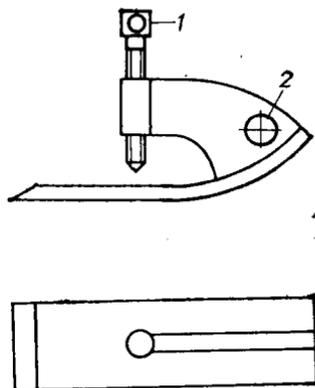
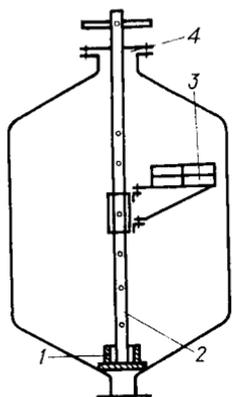


Рис. 8.24. Люлька для сварки внутренних швов аппарата:  
1 — подпятник; 2 — осевая труба; 3 — рабочая площадка (люлька); 4 — временный фланец.

Рис. 8.25. Приспособление для транспортировки листового металла:  
1 — прижимной винт; 2 — отверстие для строповки.

Для перемещения листовых материалов в вертикальном положении используется захват или струбцины, а для перемещения длинномерных листов — приспособление, состоящее из двух одинаковых захватов, подвешенных на общей штанге (траверсе). Принцип самозаклинивания используется как в механизированных, так и в ручных устройствах.

Установка мачт в вертикальное положение осуществляется следующими основными методами: 1) подъем мачты краном с последующей доводкой расчалками в рабочее положение; 2) подъем мачты с помощью вспомогательной мачты меньшего размера; 3) подъем мачты с помощью строительных конструкций (с помощью лебедки и блока, установленного на металлоконструкции здания или технологической установки).

Место установки мачты выбирается так, чтобы после ее установки без передвижки можно было выполнять возможно больший объем работ. Перед установкой мачты должны быть установлены якоря, закреплены лебедки и опоры мачты, укреплены и разложены на земле расчалки.

При установке мачты с помощью крана подъемный строп крепится на мачте в точке, расположенной от опоры на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины мачты. Для предотвращения сдвига основание мачты крепится канатом к якорю, расположенному в направлении, противоположном направлению подъема мачты. Краном мачта поднимается в наклонное положение. Полиспасты расчалок подтягиваются. После расстроповки мачты она дотягивается расчалкой до вертикального положения.

Подъем мачты с помощью вспомогательной мачты методом скольжения заключается в следующем. Вспомогательная мачта

поднимается краном или лебедкой через монтажный блок, закрепленный на металлоконструкции технологической установки. Строп крепится к поднимаемой мачте на 1—1,5 м выше ее центра тяжести. Таким образом, высота вспомогательной мачты с учетом этого условия, а также с учетом высоты полиспаста должна быть примерно на 4 м выше половины длины монтируемой мачты.

Из горизонтального положения мачта поднимается в наклонное положение подъемным полиспастом вспомогательной мачты. При этом нижний конец мачты скользит по земле на санях или на стальном листе. После закрепления основания мачты от сдвига мачта из наклонного положения дотягивается в вертикальное положение полиспастом расчалки. Вспомогательная мачта перед вторым этапом подъема должна быть опущена, так как ее расчалки мешают подъему основной мачты.

Подъем мачты с помощью вспомогательной падающей мачты по сравнению с предыдущим способом позволяет применить вспомогательную мачту, высота которой составляет только  $\frac{1}{3}$  высоты основной мачты. Основная мачта стропится в точке, расположенной от опоры на расстоянии  $\frac{2}{3}$  длины мачты. Подъем основной мачты из горизонтального положения в наклонное осуществляется полиспастом, установленным между лебедкой и вспомогательной мачтой. В процессе подъема вспомогательная мачта наклоняется (падает) в сторону лебедки, а основная поднимается до угла к горизонту примерно  $60^\circ$ . Дальнейший подъем основной мачты до вертикального положения осуществляется полиспастом расчалки. Боковые расчалки предотвращают выход мачты из плоскости подъема. Задняя расчалка во время подъема висит свободно и включается в работу при доводке мачты в рабочее положение.

Помимо установки мачт в процессе монтажа возникает необходимость передвижки мачт к новому месту монтажа. Передвижка мачты на небольшое расстояние более экономична, чем ее демонтаж и монтаж на новом месте. Расчалки при передвижке не снимаются, а только одни из них ослабляются, другие — подтягиваются. Сначала осуществляется наклон мачты на  $1\text{--}2$  м (на  $15\text{--}20^\circ$ ), затем передвижка основания на  $1\text{--}2$  м или  $2\text{--}4$  м. Основание передвигается с помощью лебедки и скользит по направляющим из рельсов, балок, швеллеров, металлического листа.

Подъем горизонтальных аппаратов может осуществляться домкратами в несколько приемов с установкой промежуточных опор поочередно сначала под аппарат, а затем под домкраты. Специальные устройства применяются для кантовки аппаратов — поворота вокруг горизонтальной оси.

Монтаж временными монтажными балками осуществляется в строящихся цехах путем закрепления монтажной балки на строительных конструкциях. Монтажная балка изготавливается из двутавровых балок, соединенных накладками. На балке привариваются устройства для крепления грузового полиспаста. Анало-

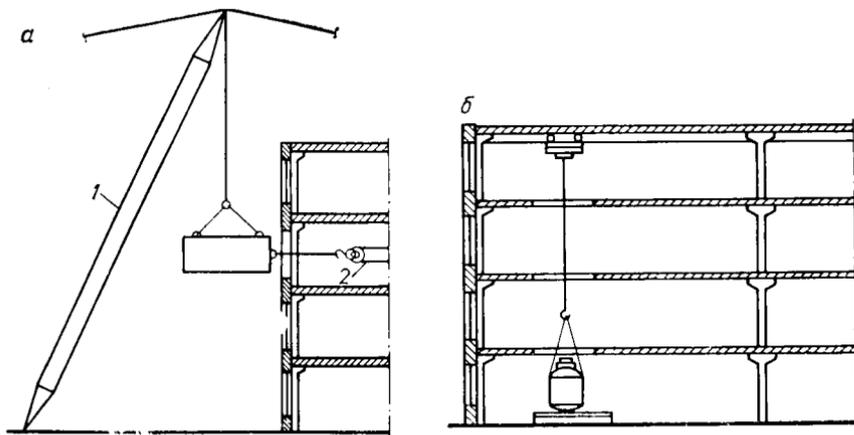


Рис. 8.26. Подъем оборудования в здании:  
*а* — через проем в стене; *б* — через проемы в межэтажных перекрытиях;  
 1 — мачта; 2 — полиспаст лебедки.

гибкую конструкцию имеет временная монтажная мачта, укрепляемая на строительной конструкции.

Монтаж оборудования в помещениях особенно в процессе реконструкции требует подъема оборудования в помещении. Подача оборудования ведется через окна, крышу, монтажные проемы в перекрытиях здания. В ряде случаев для увеличения проема приходится разрушать часть стены, прилегающей к окну, или демонтировать крышу. На рис. 8.26 представлены схемы подъема аппаратов в помещении. На рис. 8.27 показана схема монтажа аппарата в закрытом помещении. Предварительно с помощью мостового крана монтируется монтажный портал. Снимается часть строительных конструкций, которые для этой цели должны быть разборными. Аппарат на катках втягивается в помещение, а затем с помощью полиспаста, укрепленного на портале, и

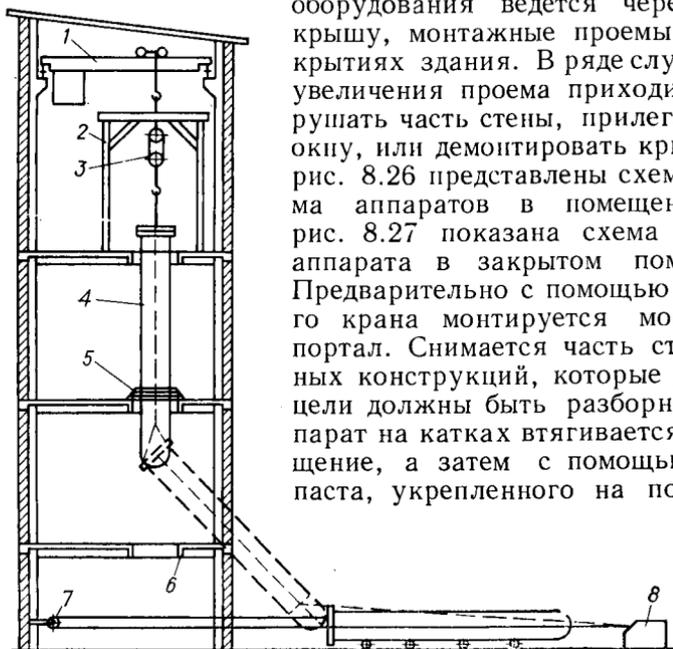


Рис. 8.27. Монтаж аппарата в здании цеха:  
 1 — мостовой кран; 2 — портал; 3 — полиспаст; 4 — аппарат; 5 — съемная опора аппарата; 6 — съемные железобетонные балки; 7 — направляющий блок; 8 — лебедка.

лебедок, размещенных снаружи на монтажной площадке, осуществляется подъем аппарата с последующим монтажом его опоры и установкой аппарата на междуэтажном перекрытии.

К промышленным методам монтажа относятся монтаж укрупненными блоками и монтаж полностью собранного аппарата методом подъема или методом надвигки. Укрупненными блоками являются такие части оборудования, вес которых близок к грузоподъемности применяемых механизмов. В пределах укрупненные блоки заменяются полностью собранным аппаратом перед монтажом. Замена аппаратов методом надвигки производится путем сборки нового аппарата рядом со старым на стальном листе. После демонтажа старого аппарата новый аппарат с помощью лебедок и домкратов надвигается на рабочее место при смазке стального листа солидолом или графитовой смазкой. Для снижения коэффициента трения используется также покрытие стальных листов фторопластом или полиэтиленом высокой плотности. Коэффициент трения для этих материалов равен 0,05 и уменьшается при увеличении удельной нагрузки. Наибольшее усилие при передвигке прикладывается в начальный момент, так как коэффициент трения покоя в 2—2,5 раза превышает коэффициент трения скольжения.

Метод надвигки используется при реконструкции в стесненных условиях, когда невозможно установить грузоподъемные средства. Для уменьшения тягового усилия и плавного начала движения при трогании с места металлические листы или рельсы, по которым движется аппарат, смазываются консистентной смазкой. Этот метод позволяет выполнять все подготовительные работы в сборной зоне вне действующего производства и применим при высоте фундаментов не более 0,5 м. При большей высоте увеличивается объем работ по подготовке транспортного пути.

### 8.3. УСТАНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ НА ФУНДАМЕНТЕ

Установка оборудования на фундаменте с точной выверкой в плане, по высоте и по горизонтали необходима для обеспечения работоспособности оборудования, возможности соединения друг с другом отдельных единиц оборудования и повышения жесткости корпусных деталей. Жесткость корпусных деталей (станин) обеспечивается их высокой металлоемкостью. При закреплении на фундаменте за счет присоединения жесткости фундамента жесткость станин существенно повышается. Опирание оборудования на фундамент осуществляется следующими способами (рис. 8.28): 1) с опиранием оборудования непосредственно на фундамент; 2) с применением пакетов плоских металлических подкладок, клиньев, опорных башмаков и т. д. и подливкой бетонной смеси после закрепления оборудования; 3) с опиранием оборудования на

бетонную подливку при «бесподкладочных» методах монтажа. Наиболее предпочтительны бесподкладочные методы монтажа как более экономичные, однако необходимость компенсировать неточность размеров фундаментов заставляет использовать подкладочные методы монтажа. Пакеты подкладок являются постоянными несущими опорами и воспринимают как монтажные, так и эксплуатационные нагрузки, а подливка имеет вспомогательное назначение.

При бесподкладочных методах несущими поверхностями являются бетонная подливка или выверенная поверхность фундамента. Толщина слоя подливки при бесподкладочных методах допускается в пределах 50—80 мм. Подливка в плане должна выступать за опорную поверхность оборудования не менее, чем на 100 мм. Поверхность подливки, примыкающая к оборудованию, обязана иметь уклон в сторону от оборудования и должна быть защищена маслостойким покрытием.

При опирании оборудования на бетонную подливку для выверки оборудования могут применяться упругие шайбы. Упругие шайбы изготавливаются из металла или из комбинации металла и резины. Они упрощают выверку оборудования и являются опорами только в момент выверки до нанесения на фундамент бетонной подливки.

Выверка оборудования может осуществляться с помощью фундаментных, в том числе и самоанкерующихся, болтов. Для этого на болт устанавливается дополнительная установочная гайка с эластичной прокладкой. Оборудование опирается на эластичную прокладку. Предварительная регулировка положения оборудования по высоте осуществляется вращением установочных гаек, а тонкая регулировка — сжатием упругой прокладки усилием предварительной затяжки крепежных гаек. После подливки и твердения бетонной смеси крепежные гайки затягиваются окончательно.

Установка стальных металлических конструкций осуществляется: 1) непосредственно на фундамент с применением подкладок или шайб для выверки металлоконструкций и последующей подливкой фундамента после затяжки фундаментных болтов; 2) путем опирания строганных или фрезерованных опорных

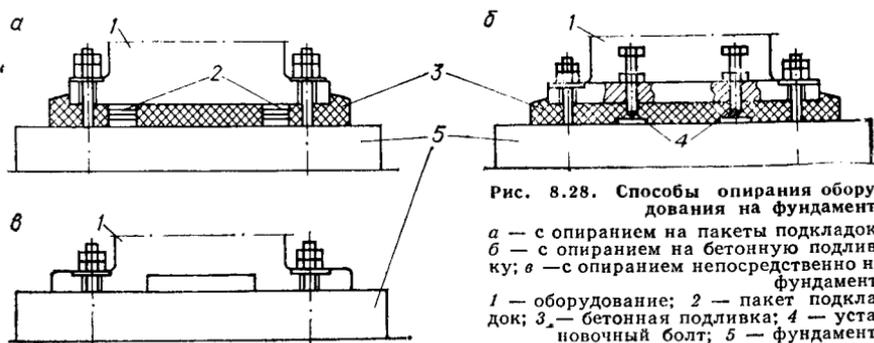


Рис. 8.28. Способы опирания оборудования на фундамент:  
 а — с опиранием на пакеты подкладок;  
 б — с опиранием на бетонную подливку;  
 в — с опиранием непосредственно на фундамент;  
 1 — оборудование; 2 — пакет подкладок; 3 — бетонная подливка; 4 — установочный болт; 5 — фундамент.

поверхностей конструкции на предварительно установленные, выверенные и подлитые на фундаментах стальные плиты.

Последний, безвыверочный способ монтажа металлоконструкций значительно ускоряет монтажные работы и применяется чаще. Фундаментные болты делятся на конструктивные и расчетные (силовые). Конструктивные болты служат для фиксации конструктивного закрепления оборудования на фундаменте и для предотвращения случайных смещений. Такие болты предусматриваются для оборудования, устойчивость которого обеспечивается собственным весом.

Расчетные болты воспринимают нагрузки, которые возникают при работе технологического оборудования. В зависимости от способа установок болты делятся на следующие виды: 1) устанавливаемые непосредственно в массив фундамента (болты глухие); 2) устанавливаемые в массив фундамента с изолирующей трубой (болты глухие и съемные); 3) устанавливаемые в просверленные скважины (болты глухие и съемные); 4) устанавливаемые в колодцах (болты глухие). Основные типы фундаментных болтов представлены на рис. 8.29. Болты с отгибами являются наиболее простыми и устанавливаются непосредственно в массив фундамента или в колодец, как показано на рис. 8.29, а. При установке болта в массив фундамента болт крепится на специальных кондукторах, строго фиксирующих и обеспечивающих проектное положение болта при бетонировании фундамента.

Болты с анкерными плитами (рис. 8.29, б) заделываются в фундамент так же, как и болты с отгибами, и могут иметь меньшую высоту, чем болты с отгибами.

Составные болты с анкерными плитами (рис. 8.29, в) применяются при установке оборудования методом поворота или передвижки. В этих случаях муфта и нижняя шпилька с анкерной плитой устанавливаются в массив фундамента во время бетонирования, а верхняя шпилька ввертывается в муфту на всю длину резьбы после установки оборудования через отверстия в опорах оборудования.

Болты с изолирующей трубой (рис. 8.29, г) устанавливаются в массив фундамента и могут быть с анкерной плитой или с амортизирующими элементами. Изолирующая труба позволяет демонтировать болт, т. е. делает его съемным. Изолирующая труба и анкерная плита закладываются в фундамент во время бетонирования, а шпилька устанавливается свободно в трубе после устройства фундамента и вворачивается в анкерную плиту.

Болты с амортизирующими элементами состоят из шпильки, изолирующей трубы, анкерной плиты, шпильки и тарельчатых пружин, устанавливаемых в нижней части болта. Амортизирующие элементы за счет упругих деформаций обеспечивают прочность соединения при меньшей глубине заделки болта в бетон, однако они обладают недостатком, заключающимся в необходимости иметь доступ к нижней части болтов. Болты с тарельчатыми

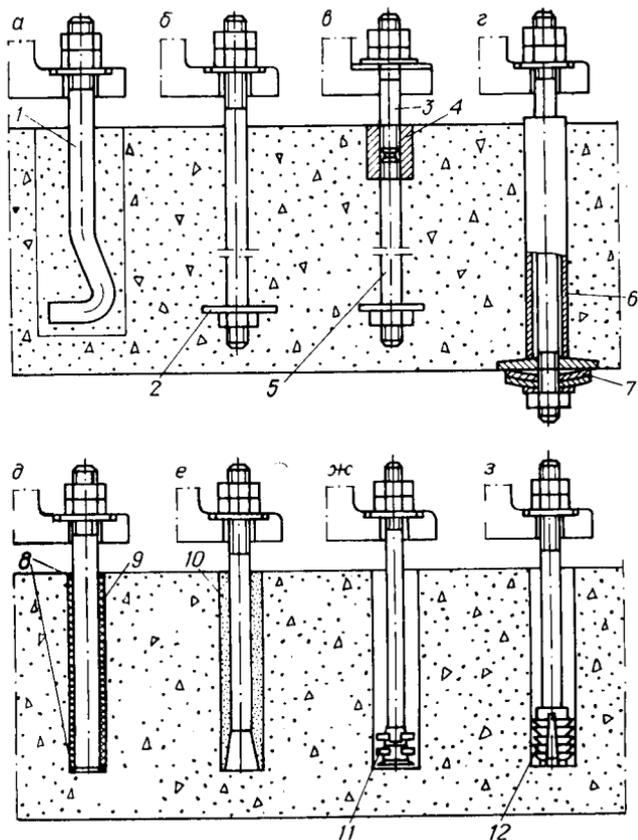


Рис. 8.29. Основные типы фундаментных болтов:

*a* — с отгибом; *б* — с анкерной плитой; *в* — составной с анкерной плитой; *г* — с изолирующей трубой; *д* — прямой на эпоксидном клее; *е* — конический с цементной зачеканкой; *ж* — конический с распорной цапгой; *з* — конический с распорной втулкой; 1 — болт; 2 — анкерная плита; 3 — верхняя шпилька; 4 — муфта; 5 — нижняя шпилька; 6 — изолирующая труба; 7 — тарельчатая пружина; 8 — центрирующее кольцо; 9 — эпоксидный клей; 10 — цементная зачеканка; 11 — распорная цапга; 12 — распорная втулка.

пружинами и изолирующей трубой рекомендуются для установки оборудования, испытывающего при эксплуатации динамические нагрузки и удары.

Прямые болты, закрепляемые с помощью эпоксидного клея (рис. 8.29, *д*), и конические болты, закрепляемые с помощью цементной зачеканки, распорных цапг или распорных втулок (рис. 8.29, *е*—*з*), устанавливаются в просверленные скважины.

Болты, закрепляемые эпоксидным клеем, могут устанавливаться как до, так и после монтажа и выверки оборудования, через отверстия в опорах оборудования. Толщина клеевого слоя колеблется от 3 до 15 мм в зависимости от диаметра болта. Равномерность толщины слоя обеспечивается установкой фиксирующих колец из

проволоки. Нижнее кольцо устанавливается в скважину до заливки клея, верхнее — после установки болта.

Конические болты с цементной зачеканкой можно вводить в эксплуатацию через 10 суток после заделки. Для зачеканки используется цементный раствор с водоцементным отношением 0,15.

Болты с распорными цангами и распорными втулками можно вводить в эксплуатацию сразу же после установки болтов в скважины. При необходимости они могут быть извлечены из скважины и использованы повторно. Закрепляются эти болты с помощью монтажных трубок, которые служат для распора цанг и фиксирования глубины заделки. Скважины для конических болтов с распорными цангами и втулками могут заливаться цементным раствором при напряженном рабочем состоянии цанговых креплений. Такая необходимость возникает в помещениях с агрессивной атмосферой, а также для оборудования, подверженного динамическим воздействиям. Самоанкерующиеся болты могут иметь глубину заложения в 3—4 раза меньше, чем обычные болты, т. е. глубину анкеровки, равную 10—15 диаметров болта. Болты с распорными цангами можно устанавливать на расстоянии от боковой грани фундамента не менее 10 диаметров болта. При низкой прочности бетона может происходить нарушение анкеровки путем выдергивания конусной части болта из цанги при вдавливании цанги в бетон. В этом случае конусная часть болта снабжается буртиком, препятствующим проскальзыванию конуса в цанге. При наличии буртика бетон работает не на контактную прочность, а на скалывание, поэтому малая глубина анкеровки становится неприемлемой.

Установка оборудования на междуэтажных перекрытиях осуществляется с опиранием оборудования непосредственно на поверхность перекрытия или на металлических подкладках с подливкой бетонной смесью. Крепление оборудования к перекрытию производится болтами, пропущенными через перекрытие или самоанкерующимися болтами, устанавливаемыми в глухие отверстия перекрытий на глубину 4—5 диаметров болта. Крепежный болт может проходить через отверстия в станине машины и опорной раме; при прохождении же болта рядом со станиной крепление машины осуществляется с помощью лапок, устанавливаемых под гайку и опирающихся одним краем на перекрытие, а противоположным краем — на станину или раму. Лапки целесообразно использовать также при подвешивании оборудования к перекрытию.

Поверх черного пола после монтажа оборудования укладывается покровный слой (чистый пол). Толщина слоя подкладок, применяемых для выверки оборудования, не должна превышать толщину чистого пола.

При установке оборудования на перекрытии гайка болта и резьбовая часть болта находятся сверху, при подвешивании оборудования к перекрытию резьбовая часть болта находится внизу. Под

головку болта устанавливаются монтажные круглые или квадратные шайбы, изготавливаемые из листовой стали толщиной 0,3 диаметра болта с размерами стороны квадрата и диаметра шайбы не менее пяти диаметров болта.

Оборудование с большими динамическими нагрузками может устанавливаться на деревянных рамах или брусках, на виброизолирующих пружинных опорах и на виброрегулирующих основаниях — резиновых пластинах толщиной 10 мм.

При монтаже оборудования приходится устранять дефекты фундаментов, допущенные строителями. Фундамент может быть занижен или завышен по высоте. Возможно отсутствие фундаментных болтов или несоответствие плана фундаментных болтов с расположением отверстий в опоре аппаратов. Последний дефект возникает при смещении кондуктора для установки болтов при заливке фундамента. Иногда при оперативной замене намеченной к установке устаревшей машины более совершенной тоже является несоответствие расположения фундаментных болтов и отверстий в опоре машины. Заниженный фундамент дополнительно наращивается подливкой, завышенный доводится до требуемой высоты вырубкой верхнего слоя. При отсутствии фундаментных болтов сверлятся скважины и затем в них устанавливаются болты. При реконструкции предприятий также возможна установка нового оборудования на существующих фундаментах со сверлением скважин. Сверление выполняется пневмо- или электроперфораторами, оснащенными рабочими органами из твердых сплавов типа ВК8 или ВК14. Эти инструменты обеспечивают получение отверстий диаметром 12—46 мм. Электро- или пневмосверлильные машины осуществляют сверление спиральными сверлами диаметром 10—30 мм, оснащенными пластинками из твердого сплава. Машины алмазного сверления работают с кольцевыми твердосплавными сверлами диаметром 16—85 мм или кольцевыми алмазными сверлами диаметром 20—85 мм.

При расхождении плана расположения фундаментных болтов возможна приварка и изгиб болтов или установка промежуточной плиты (рамы), отверстия которой совпадают с расположением фундаментных болтов, а дополнительные отверстия служат для крепления оборудования к плите.

Для облегчения монтажа отверстия под фундаментные болты в опорных частях колонного оборудования делаются диаметром, который в 1,5—2 раза больше диаметра болтов. После выверки оборудования поверх отверстий под гайку подкладываются шайбы с малым значением диаметра отверстий и затем привариваются к опоре. Диаметр отверстий шайбы на 1—2 мм больше диаметра болта.

При необходимости изготовления фундаментов под новое оборудование может применяться рама из уголков, швеллеров, балок, труб, на которой выверяется и крепится оборудование до заливки фундамента. Рама остается в фундаменте после его заливки,

выполняя роль арматуры фундамента. Изготовление рамы требует расхода металла, поэтому этот метод применим при установке одиночных небольших машин. Колодцы в фундаменте выполняются путем установки перед заливкой бетона вкладышей, изготовленных из дерева или из проволоки, навитой в спираль и покрытой толью. Извлечение деревянных пробок после затвердевания бетона затруднительно, тогда как проволочные пробки извлекаются легко.

Для разрушения старых фундаментов при реконструкции предприятий используются установки электрогидравлического эффекта. Ускорение изготовления фундаментов осуществляется заменой монолитных фундаментов на свайные при использовании железобетонных свай или свай из металлических труб диаметром 108—219 мм.

Проверка фундаментов перед монтажом включает натяжение струн по осям фундаментов, подвешивание отвесов, проверку размеров фундамента, расположения отверстий для анкерных болтов, проверку высотных отметок.

При выверке оборудования по осям фундамента его горизонтальное перемещение ведется с помощью кранов, домкратов, винтовых упоров, рычагов или клиновых приспособлений. На рис. 8.30 изображено клиновое приспособление, с помощью которого создается давление на боковую поверхность станины машины и осуществляется горизонтальное перемещение станины. Такие же клинья применяются при выверке оборудования по высоте. Клинья позволяют менять высоту подъема (смещения) в пределах 5—8 мм, поэтому для увеличения предела регулирования под них устанавливаются плоские подкладки. Для выверки оборудования по высоте кроме регулировочных винтов применяются инвентарные регулировочные домкраты (рис. 8.31), которые перед подливкой

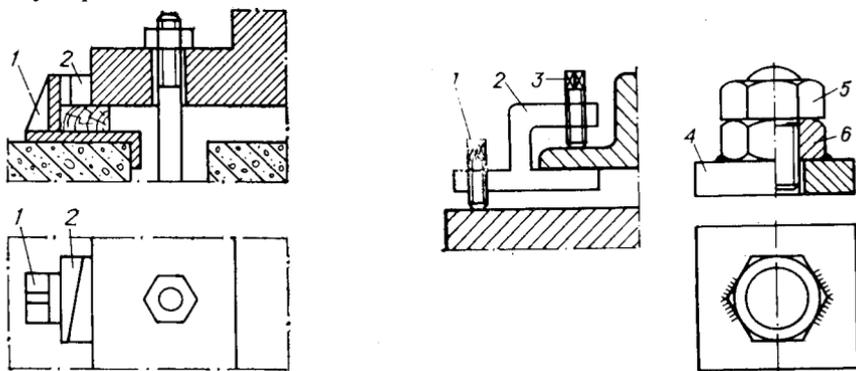


Рис. 8.30. Приспособление для горизонтальных перемещений машины:

1 — упор; 2 — клинья.

Рис. 8.31. Инвентарные регулировочные домкраты:

1 — регулировочный винт; 2 — трубочина; 3 — зажимной винт; 4 — опорная плита; 5 — болт; 6 — гайка.

окружаются опалубкой и после затвердевания подливки извлекаются с последующим заполнением образующейся ниши бетонной смесью.

Для одновременной выверки по высоте и в плане применяются инвентарные двухвинтовые устройства, в которых горизонтальный винт осуществляет перемещение оборудования в горизонтальной плоскости (в плане), а вертикальный винт служит для выверки оборудования по высоте. По окончании выверки щупом контролируется плотность установки оборудования на домкратах или установочных винтах. После установки опалубки и обертки бумагой или толем участков установочных болтов, остающихся в бетонной подливке, проводится подливка бетонной смеси с уплотнением ее глубинными вибраторами.

Через семь суток после подливки, когда в основном закончатся усадочные деформации бетона, отвертываются на 2—3 оборота установочные болты или извлекаются инвентарные домкраты, осуществляется окончательная выверка оборудования и затяжка фундаментных болтов.

Даже при тщательном контроле усилия затяжки происходит перераспределение начальных напряжений и болты оказываются затянутыми неравномерно. Для обеспечения равномерности затяжка должна производиться не менее, чем в три обхода.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

8.1. Отводной блок располагается от оси лебедки на расстоянии не менее 20 длин барабана лебедки (рис. 8.32). Какова при этом допустимая величина угла  $\alpha$  между крайними положениями каната? Для какой цели устанавливается максимально допустимый угол между крайними положениями каната?

8.2. Сбегающий конец троса должен находиться снизу барабана лебедки. Какое влияние на устойчивость лебедки оказывает положение сбегающего конца троса? Как изменится устойчивость лебедки, если сбегающий конец троса будет находиться сверху барабана лебедки?

8.3. Удлинение аппарата сварной балкой (рис. 8.33) позволяет уменьшить нагрузку на кран при подъеме аппарата методом поворота вокруг шарнира.

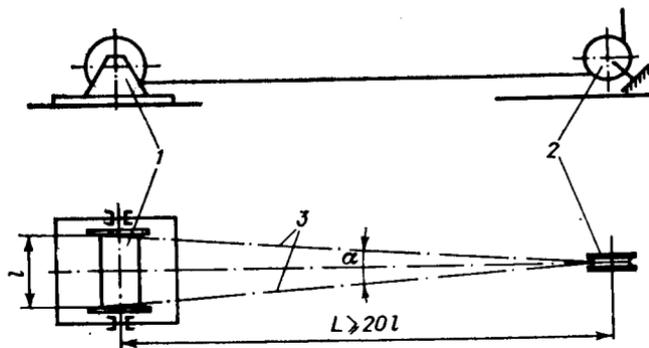


Рис. 8.32. Расположение отводного блока:  
1 — лебедка; 2 — отводной блок; 3 — крайнее положение троса.

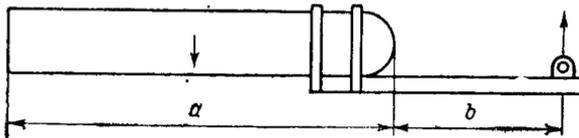


Рис. 8.33. Удлинение аппарата сварной балкой.

Масса аппарата — 50 т, высота  $a = 20$  м. Рассчитать необходимую длину рабочей части балки  $b$ , если допустимая нагрузка на кран составляет 2000 кН. Массу балки принять равной нулю.

8.4. При подъеме двумя кранами распределение нагрузки на краны достигается использованием строповочных приспособлений 1 и 2 (рис. 8.34). Сохраняется ли постоянная нагрузка на краны при переводе аппарата из горизонтального положения в вертикальное? Как влияют на распределение нагрузки значения размеров  $a$  и  $b$ .

8.5. Недостаток гусеничных кранов — низкая мобильность и тихходность. Является ли рациональной переброска гусеничных кранов на значительные расстояния?

8.6. За счет изменения числа вставок длина стрелы гусеничного крана СКГ-25 может составлять 15; 20; 25; 30; 45 м. Изменяется ли при этом грузоподъемность крана?

8.7. Использование стреловых кранов для монтажа колонного аппарата по сравнению с использованием монтажных мачт сокращает в среднем вдвое затраты труда и стоимость монтажа. Чем это можно объяснить?

8.8. Более половины всего кранового парка составляют автомобильные краны. В чем преимущества и недостатки этих кранов по сравнению с кранами других типов?

8.9. При перестановке башенного крана к следующему объекту укладывается временный рельсовый путь непосредственно на старый рельсовый путь. С помощью домкратов кран поднимается, ходовые колеса заменяются на временные тележки, кран опускается на временный рельсовый путь и с помощью лебедки передвигается к рельсовому пути, находящемуся у следующего объекта. Здесь в обратной последовательности с помощью домкратов временные тележки заменяются на ходовые колеса, а временный рельсовый путь демонтируется. Каким образом этим способом можно осуществить перестановку мачты? Какие дополнительные работы необходимо для этого выполнить?

8.10. Для быстрого соединения кольцевых цепей применяются соединительные звенья (рис. 8.35), имеющие более высокую прочность, чем звенья соединяемой цепи. Для чего предъявляются такие требования к прочности соединительного звена?

8.11. Места соединения сварочных кабелей для надежной изоляции покрываются резиной. Для этого участок, подлежащий изоляции, обматывается лентой из резины, зажимается двумя половинками разрезанной вдоль трубы с помощью винтового приспособления и равномерно прогревается пламенем газовой горелки. Какая резина применяется для этой операции? Какова примерно продолжительность прогрева резины?

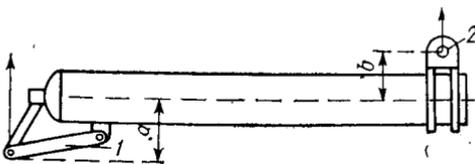


Рис. 8.34. Подъем двумя кранами:  
1, 2 — строповочные приспособления.

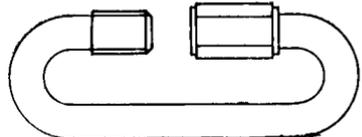


Рис. 8.35. Соединительное кольцо для кольцевых цепей:

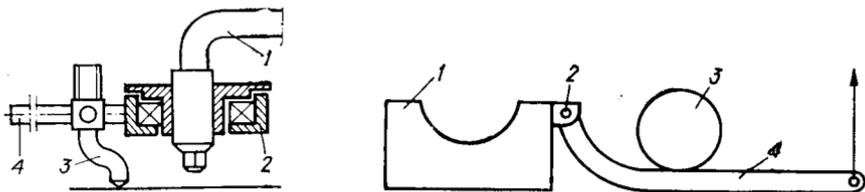


Рис. 8.36. Приспособление к автогенному резаку:

1 — резак; 2 — подшипниковая головка; 3 — ножка циркуля; 4 — дистанционная рейка.

Рис. 8.37. Устройство для подъема емкости:

1 — опора; 2 — шарнир; 3 — емкость; 4 — рычаг.

8.12. При вырезке заготовок фланцев из листового металла для облегчения труда сварщика используется приспособление (рис. 8.36), позволяющее осуществлять вырезку заготовок без смены рабочей позы. Что обеспечивает устойчивость приспособления при работе?

8.13. Для подъема горизонтальных емкостей на опоры может использоваться устройство, показанное на рис. 8.37. На опоре укрепляется шарнир, к которому присоединяется рычаг. Одно плечо рычага изогнуто, а второе выполнено прямолинейным и соединено с грузоподъемным средством. Емкость закатывается на рычаги (2 штуки) до упора в изогнутое плечо, затем концы прямолинейных участков соединяются с краном и одновременным подъемом рычагов осуществляется подъем емкости на опоры. Где целесообразно использовать устройство — при ремонте или при монтаже? Какие меры можно применить для плавной укладки емкости на опоры? Каким образом может быть укреплен шарнир на кирпичной опоре?

8.14. В неудобных условиях, когда средства малой механизации неприемлемы, используются шпильки со встроенными по оси электронагревателем, разогревающим шпильку перед затяжкой гаек. Каким образом можно осуществить нагрев шпильки горячим воздухом, если она имеет глухое отверстие по оси?

8.15. Достоинствами ручной сварки являются простое в эксплуатации оборудование, хорошая маневренность, возможность выполнения швов во всех пространственных положениях. В чем заключаются недостатки ручной сварки?

## МОНТАЖ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 9.1. МОНТАЖ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

К колонной аппаратуре относятся массообменные и реакционные аппараты большой высоты и веса. Этот тип аппаратов представляет наибольшие сложности при перевозке и при установке в проектное положение. Реакционные аппараты высокого давления имеют большую толщину стенок и изготавливаются целиком на машиностроительных заводах. Установка в полностью собранном виде экономически целесообразна также для аппаратов, поставляемых блоками.

Негабаритные колонные аппараты диаметром 5—9 м, поставляемые блоками, собираются на монтажной площадке с использованием сборочных стендов — роликовых или канатных. Роликовый стенд состоит из сварной металлической рамы, привода, обрезиненных приводных и холостых роликов. Перестановка роликовых опор в направляющих позволяет собирать аппараты различного диаметра. Канатный стенд имеет несколько опор, в которых стыкуемые блоки подвешиваются на канатах.

На сборочных стендах осуществляется выверка блоков с осевым перемещением и вращением, а также сварка. Для сварки кольцевых швов стенды снабжены перекидными мостиками, на которых располагается сварочное оборудование. Швы днищ варятся вручную, кольцевые швы обечаек — вручную или сварочным автоматом.

Стыковка блоков проводится с применением приспособлений, обеспечивающих совмещение кромок (рис. 9.1). В зависимости от принятого способа монтажа (укрупненными блоками или полностью собранного аппарата) на стенде осуществляется сборка всего аппарата или только укрупненных блоков, состоящих из 2—3 блоков поставки.

При монтаже укрупненными блоками после установки в проектное положение очередного блока проводится монтаж тарелок, металлоконструкций, обслуживающих площадок. После этого монтируется следующий блок.

При монтаже полностью собранного аппарата сначала аппарат собирается из блоков, а затем приваривается опора.

Монтаж насадки колонных аппаратов осуществляется после окончательной выверки и закрепления аппарата фундаментными болтами, установки обслуживающих площадок и лестниц, гидравлического испытания.

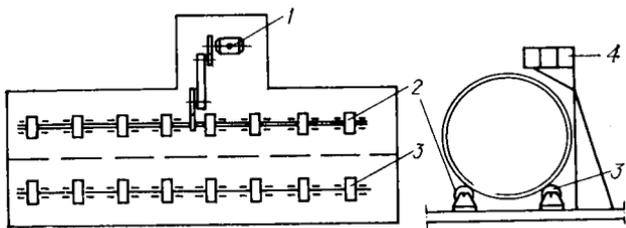


Рис. 9.1. Стенд для автоматической сварки колонной аппаратуры  
 1 — привод; 2 — приводные ролики; 3 — холостые ролики; 4 — площадка для сварщика.

Монтаж тарелок начинается с установки опорных элементов, горизонтальность установки которых проверяется с помощью рейки и уровня. Детали тарелок подаются на монтаж стреловым краном или краном-укосиной, устанавливаемым для этой цели на колонне. После сборки всех элементов каждая тарелка проверяется на барботаж. Для этой цели закрываются все люки, расположенные ниже контролируемой тарелки, тарелка заливается водой, в нижнюю часть колонны подается воздух от вентилятора или компрессора. Равномерность барботажа контролируется визуально. Сначала определяется равномерность барботажа по площади тарелки, а затем по периметру каждого колпачка.

На круглые колпачки надевается отрезок трубы, с помощью которого колпачок изолируется от остальной площади тарелки. Равномерность барботажа контролируется по окружности колпачка.

При беспорядочной загрузке колец Рашига или других насадочных элементов аппарат заполняется водой до верхнего люка и кольца из подъемного бака выгружаются в воду. По мере наполнения колонны излишняя вода сливается через нижний штуцер колонны.

**Устройства для скольжения и поворота.** Подъем методом скольжения вынуждает обеспечить горизонтальное перемещение опоры аппарата. При подъеме кранами допустимо отклонение полиспаста от вертикали не более  $3^\circ$ , поэтому обязательным является подтаскивание опоры аппарата лебедкой. При монтаже любым способом опора аппарата может подвешиваться краном и скользит практически на подвеске.

Для крупных аппаратов используются специальные сани или тележки (рис. 9.2), которые перемещаются по рельсовым путям, изготовленным в виде инвентарных секций. Для предотвращения скатывания аппарата с тележки с двух сторон на нее укладываются шпалы. Тележки используются также для разворота аппарата в горизонтальной плоскости.

Если укладке аппарата на тележке мешают штуцера, используется тележка с хомутом, а также с шарнирной опорой, позволяющей плавно переводить аппарат из горизонтального положения

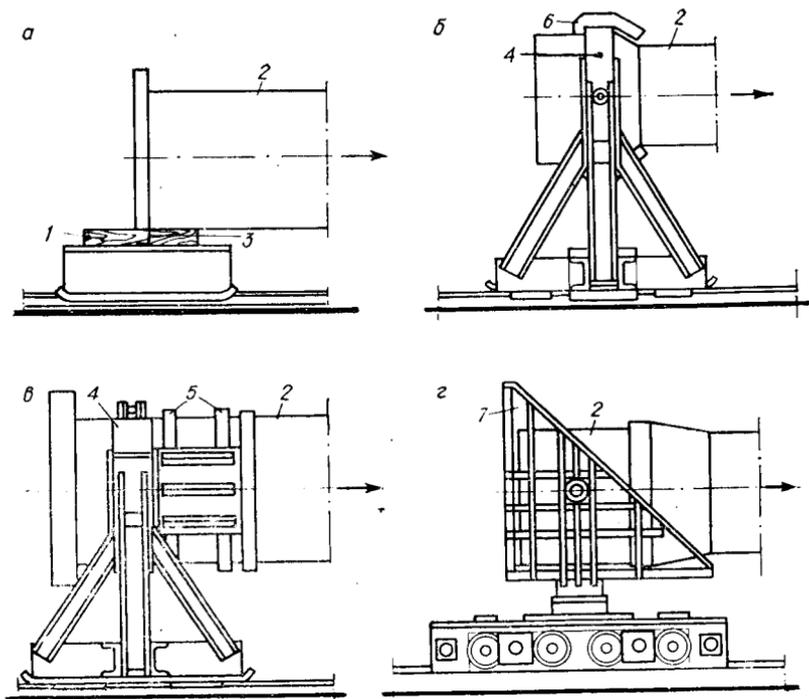


Рис. 9.2. Устройства для скольжения аппарата:

*а-в* — сани; *г* — тележка;

*1* — шпалы; *2* — аппарат; *3* — упорный уголок; *4* — хомут с цапфами; *5* — опорный хомут; *6* — опорные косынки; *7* — шарнирно-поворотная опора.

в вертикальное. Подтаскивание саней осуществляется лебедкой или трактором.

Тележки для передвижения оборудования в монтажной зоне легко изготавливаются на производственных базах монтажных организаций. Монтажные сани применяются при весе аппаратов до 100 кН. Сани и тележки перемещаются лебедками с полиспастом или тракторами. Коэффициент трения скольжения для саней изменяется от 0,7 (сталь по суглинку и супеси) до 0,3 (сталь по песку и глине). Коэффициент трения скольжения для пары сталь—сталь составляет 0,15, а при наличии смазки 0,05—0,12; коэффициент трения качения той же пары равен для тележек 0,005.

Сани с опорными элементами в виде седел выполняются универсальными, т. е. имеют возможность замены седел, а седла снабжаются шарниром для поворота аппарата.

Для равномерной передачи нагрузки на катки тележек катки подвешиваются к раме попарно на балансирах.

Если транспортировка аппарата осуществлялась по железной дороге, железнодорожные пути продлеваются прямо до фунда-

мента и роль тележки для скольжения низа аппарата выполняет железнодорожная платформа.

Скольжение аппаратов происходит по многониточному рельсовому пути, по металлическим листам, покрытым фторопластом. Во всех случаях осуществляется смазка подкладного пути. Наименьшее значение коэффициента трения имеет фторопласт, смазанный маслом. Для него коэффициент трения по стали  $f = 0,05$ .

Более высокой износостойкостью, чем фторопласт, обладает синтетическая ткань нафтлен. Эта полимерная ткань используется для покрытия специальных направляющих, по которым осуществляется передвижка монтируемого оборудования.

В качестве поворотного устройства для подъема аппаратов используется шарнир на разрезной опоре. Опора аппарата устанавливается в проектное положение, выверяется и крепится к фундаменту анкерными болтами. Размечается место разгрузки опоры. Ниже места разреза привариваются нижние части шарнира, выше — верхние части шарнира. После этого опора разрезается, кромки реза подготавливаются к последующей сварке после завершения монтажа, отрезанная часть опоры поворачивается на  $90^\circ$  и к ней пристыковывается и приваривается устанавливаемый аппарат (рис. 9.3, а и б). До подъема на аппарат наносится изоляция, устанавливаются кожуха, обслуживающие площадки, трубопроводы.

Возможна иная последовательность установки шарнира (рис. 9.3, в и г). Опора пристыковывается к аппарату и приваривается. Намечается линия разреза опоры, приваривается шарнир.

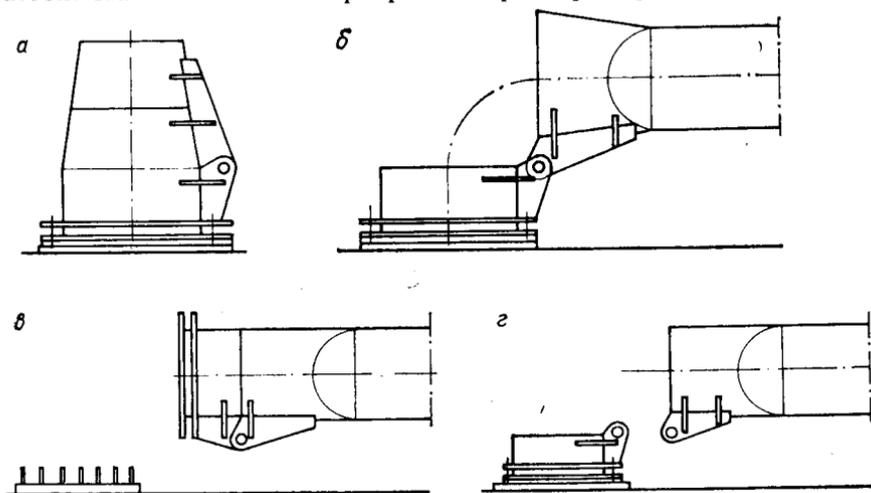


Рис. 9.3. Установка шарнира:

а — установка опоры на фундаменте, установка шарнира на опору; б — разрезание опоры, разворот ее верхней части, пристыковка аппарата; в — пристыковка опоры к аппарату, установка шарнира; г — разрезание опоры, установка нижней части опоры на фундаменте, заведение аппарата в шарнир.

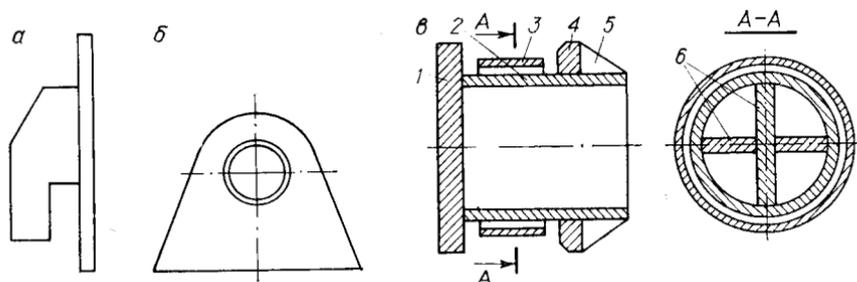


Рис. 9.4. Устройства для строповки аппаратов:

*a* — крюк; *б* — ушко; *в* — монтажный штуцер;

*1* — стенка аппарата; *2* — отрезок трубы; *3* — обойма; *4* — фланец; *5* — косынка; *6* — ребра жесткости.

Затем опора разрезается и отрезанная часть крепится на фундаменте. После этого краном аппарат подводится к опоре для соединения верхней и нижней частей шарнира. Для обеспечения устойчивости стенок опор аппаратов при монтаже внутри частей опоры привариваются с помощью косынок трубы или балки, обеспечивающие прочность опор и совпадение кромок разрезанной опоры после установки аппарата в вертикальное положение.

**Устройства для строповки.** Аппарат снабжается специальными устройствами, служащими для его строповки. Устройства в форме крюка удобны при подъеме аппарата в несколько этапов, когда после завершения первых этапов подъема требуется провести расстроповку. В этом случае захватное устройство крана под действием собственного веса выводится из крючков рис. 9.4, *a*, приваренных на корпусе аппарата в качестве строповочных устройств.

Ушки (рис. 9.4, *б*) используются при строповке аппарата за крышку. Количество ушек обычно равно трем.

Ложный штуцер (рис. 9.4, *в*) не имеет входного отверстия в аппарат и служит только для монтажа и демонтажа аппарата. Обойма вращается вместе со стропом, предохраняя его от истирания. Для лучшего вращения обоймы, под нее набивается солидол.

Фланец предохраняет строп от соскальзывания. На аппарате обычно устанавливается два ложных штуцера.

При отсутствии на аппарате монтажных цапф используется установка на корпус аппарата хомута (бандажа), снабженного устройствами для строповки.

Колонные аппараты высокого давления, имеющие в верхней части крышку, присоединяемую болтами, большого диаметра, могут снабжаться накладным приспособлением, укрепляемым вместо крышки аппарата (рис. 9.5). Приспособление, имеющее в плане вид крестовины, изготавливается из листового металла, снабжается двумя осями и приворачивается к аппарату шпильками, служащими для крепления крышки.

**Монтаж мачтами.** Схемы монтажа аппаратов одной мачтой представлены на рис. 9.6. Способы *а* и *б* применяются при монтаже методом скольжения, когда опорная часть аппарата скользит по земле в начальный период подъема, а затем отрывается от земли для установки на фундамент. В начальный период подъема аппарат поднимается полиспастом мачты, а его опорная часть скользит по направляющим. На втором этапе подъема аппарат поднимается и заводится на фундамент.

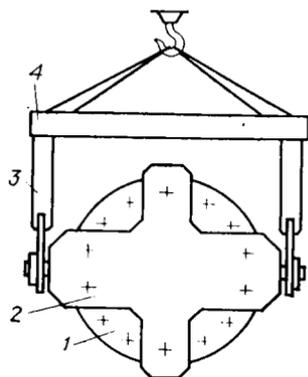


Рис. 9.5. Накладное приспособление для строповки:  
1 — аппарат; 2 — крестовина;  
3 — тяга; 4 — траверса.

При строповке высоких аппаратов за корпус (рис. 9.6, б) в поднятом положении аппарат отклоняется от вертикали, что затрудняет его установку на фундамент. Допустимое отклонение от вертикали составляет  $15^\circ$ . С учетом этого отклонения определяется место строповки.

Подъем методом поворота возможен в один прием (рис. 9.6, в) или в два приема с дотягиванием (рис. 9.6, г). В первом случае на полиспаст и задние расчалки мачты действуют большие усилия, так как центр тяжести аппарата далеко отстоит от основания мачты. При одновременном подъеме двух аппаратов (рис. 9.6, д) благодаря симметричной нагрузке мачта работает на сжатие без изгибающих моментов, в результате чего грузоподъемность мачты при этом способе возрастает. В качестве мачты могут использоваться ранее установленные аппараты. Для этого достаточно оснастить аппарат грузовым полиспастом и расчалками.

Все способы подъема аппаратов одной мачтой применимы и при подъеме аппаратов двумя мачтами. Две мачты применяются в том случае, когда грузоподъемность одной мачты недостаточна. Подъем спаренными мачтами особенно удобен при строповке за корпус аппарата, так как в этом случае удастся сохранить вертикальное положение поднятого аппарата. На рис. 9.7 представлена схема установки аппарата спаренными мачтами на высокий постамент.

Сравнивая способы скольжения и поворота можно отметить следующие их достоинства и недостатки. Подъем способом скольжения с отрывом аппарата от земли является наиболее простым, требующим минимальных затрат на подготовительные работы и оснастку. Однако при этом способе грузоподъемность монтажных механизмов должна быть равна весу аппарата или превосходить его. Другим недостатком этого метода является повышенное требование к проверке такелажной оснастки, поскольку максимальная нагрузка на оснастку воздействует только в конце подъема.

Подъем способом поворота вокруг шарнира требует более высоких затрат на подготовительные и вспомогательные работы. Эти затраты связаны с изготовлением и установкой шарнира,

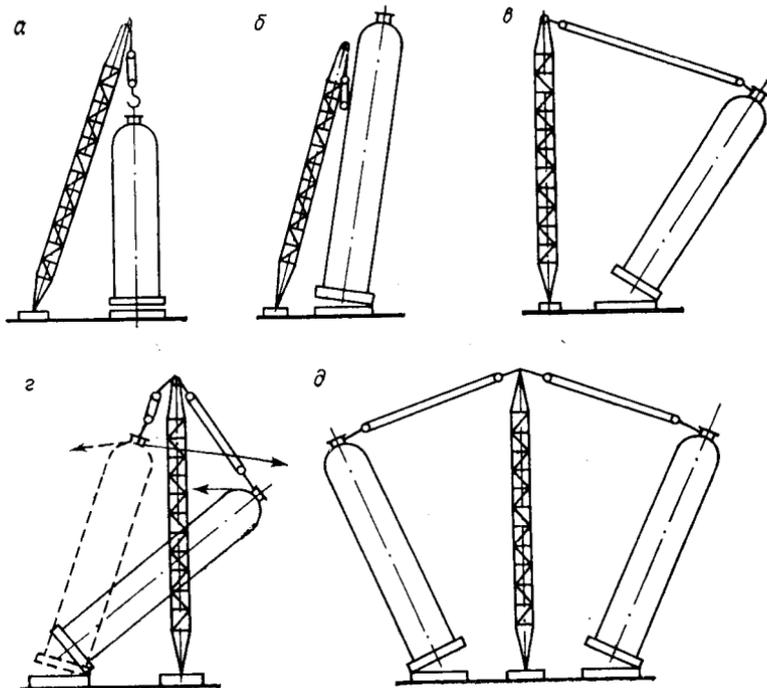


Рис. 9.6. Подъем аппаратов одной мачтой:

*а* — стропкой за верхнюю часть; *б* — стропкой за корпус с наклоном мачты; *в* — подъем поворотом аппарата; *г* — подъем поворотом с наклоном мачты; *д* — подъем двух аппаратов.

а также с дополнительными мероприятиями для восприятия горизонтальных нагрузок на фундамент. Однако при этом способе грузоподъемность монтажных механизмов может быть значительно меньше веса аппарата (немного более 50% от веса аппарата). Достоинством этого метода является также то, что максимальная на-

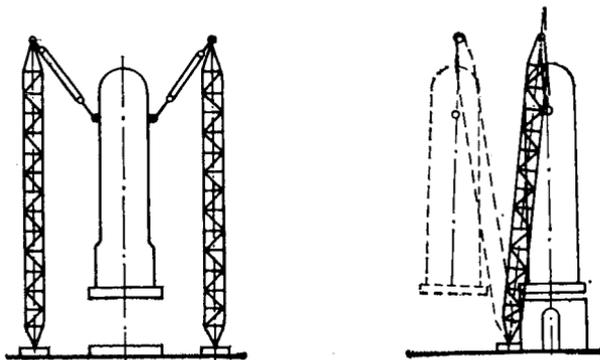


Рис. 9.7. Подъем аппарата двумя мачтами с их наклоном.

грузка на такелажную оснастку действует в первые моменты подъема, а затем по мере подъема аппарата уменьшается. Это позволяет в начале подъема после отрыва аппарата от земли дать выдержку и проверить состояние оснастки при полной нагрузке.

Монтаж тяжеловесных аппаратов осуществляется с контролем усилий в канатах. Для этого на тросах полиспастов устанавливаются динамометры, от которых показания через дистанционные электроприставки передаются на пульт централизованного управления. Дополнительно на тяговых нитях грузовых полиспастов могут быть установлены накладные тросовые электродинамометры, показания которых также передаются на пульт, который устанавливается за пределами опасной зоны. Контроль за состоянием металлоконструкций мачт осуществляется тензометрическими приборами и прогибомерами. Подобные устройства позволяют руководителю подъема иметь информацию о нагрузках на каждый кран в любой момент.

Принцип действия накладных динамометров основан на измерении деформации участка троса. Прибор устанавливается на трос при помощи специальных захватов. Установку можно проводить в любом месте расчалки, троса полиспаста и т. д., поскольку эти приборы не требуют разрыва каната для своей установки.

Из-за ветра, невозможности точно установить положение центра тяжести и прочих причин положение критического равновесия обычно трудно определить, поэтому при угле подъема  $60^\circ$  особое внимание обращается на провисание тормозного каната. С этого момента провисание каната уменьшается до минимума.

Включение тормозной оттяжки производится на 3—4° раньше достижения положения неустойчивого равновесия.

Безъякорный способ монтажа. Такой способ является разновидностью метода монтажа поворотом вокруг шарнира. Для подъема аппарата вместо мачт используется шевр, вследствие чего боковые расчалки и их якоря отсутствуют. Отсутствуют также передние и задние расчалки шевра и их якоря. Подъем аппарата осуществляется двумя лебедками, а плавное опускание его на опору — тормозной системой, поэтому сохраняются якоря для лебедок и тормозной системы, а в некоторых случаях якоря боковых расчалок аппарата.

Данный способ целесообразно использовать при реконструкции действующих предприятий, когда монтаж приходится вести в стесненных условиях и установка большого количества расчалок и якорей затруднительна.

Схема способа представлена на рис. 9.8. Аппарат крепится к фундаменту с помощью шарнирной опоры 9. Шарнирная опора portalного подъемника (шевра) устанавливается на одной вертикальной оси с местом строповки аппарата. Опора аппарата и опора шевра соединяются стяжкой 8, изготовленной из проката или труб. До начала подъема шевр располагается на земле.

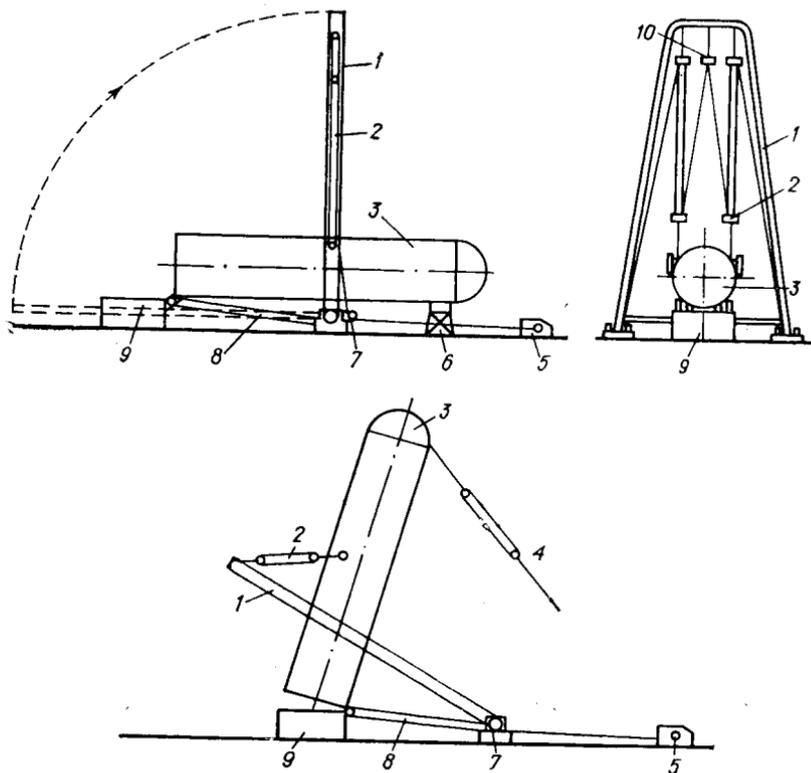


Рис. 9.8. Подъем аппарата безъякорным способом:

1 — шевр; 2 — полиспаст; 3 — аппарат; 4 — тормозная оттяжка; 5 — лебедка; 6 — временная опора; 7 — отводной блок; 8 — оттяжка; 9 — шарнирная опора; 10 — уравнительный блок.

Для того чтобы уменьшить усилия в начальный момент подъема шевра верхушка его укладывается на временную опору. Аналогично верхняя часть аппарата поднимается на 2—3 м выше поворотного шарнира с помощью кранов и временной опоры 6.

На первом этапе осуществляется подъем шевра в вертикальное положение. Поднимаемый аппарат на этом этапе выполняет роль якоря. После того как шевр примет вертикальное положение, при дальнейшей работе грузового полиспаста начинается подъем аппарата, а шевр по мере подъема аппарата наклоняется. При подходе аппарата к положению неустойчивого равновесия натягивается тормозная оттяжка, а также боковые расчалки аппарата. Опускание аппарата на опору осуществляется тормозной системой.

После выверки аппарата и закрепления фундаментных болтов освобождаются боковые расчалки, а шевр опускается под действием собственного веса при включении лебедок грузовых полиспастов на спуск.

Монтаж способом выжимания. Этот способ также является безъякорным, но отличается кинематической схемой. Схема способа представлена на рис. 9.9. Нижняя часть аппарата при помощи крана заводится в поворотный шарнир, а верхняя часть приподнимается краном насколько это возможно и укладывается на временную опору, в качестве которой используется шпальная выкладка или металлические козлы. К аппарату выше центра тяжести крепится или приваривается поворотная цапфа, соединенная шарнирно с подъемными подпорками, нижние концы которых с помощью кареток (тележек) могут скользить по рельсовому пути. Лебедки и полиспасты (2 шт.) приводят в движение каретки. При движении кареток в направлении к опоре аппарата происходит выжимание (подъем) аппарата. Плавное опускание аппарата на опору осуществляется тормозной оттяжкой

Аппарат, выжимающие подпорки и полиспаст образуют замкнутую систему, от которой усилия на фундамент не передаются. Фундамент воспринимает только усилия от сбегających ветвей полиспастов, поэтому данный способ позволяет устанавливать аппараты на высокие фундаменты (высотой до 2 м). Грузовые полиспасты располагаются внизу, что обеспечивает удобный контроль за их состоянием во время подъема.

В начальный момент подъема в такелажной оснастке возникают усилия, превышающие в 1,5 раза вес аппарата, поэтому в месте установки поворотных цапф иногда необходимо усиление корпуса аппарата.

При монтаже колонного аппарата укороченным порталом высота портала составляет 0,55—0,65 высоты аппарата. Для строповки аппарата применяется строповочная консоль (рис. 9.10) в виде жесткой консольной скобы (двулучевого рычага), крепящейся к корпусу аппарата при помощи бандажей. Консоль обеспечивает выведение аппарата при его повороте в вертикальной плоскости из объема, занимаемого порталом.

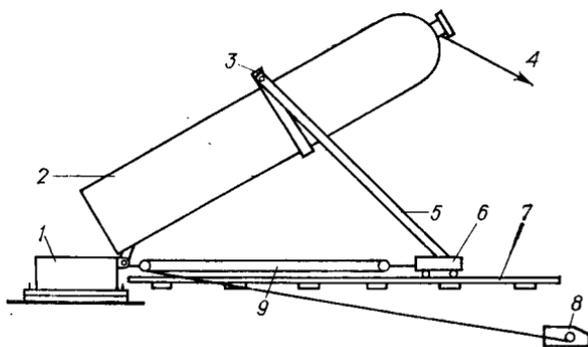


Рис. 9.9. Монтаж способом выжимания:

1 — шарнирная опора; 2 — аппарат; 3 — поворотная цапфа; 4 — тормозная оттяжка; 5 — подъемная распорка; 6 — каретка; 7 — рельсовый путь; 8 — лебедка; 9 — полиспаст.

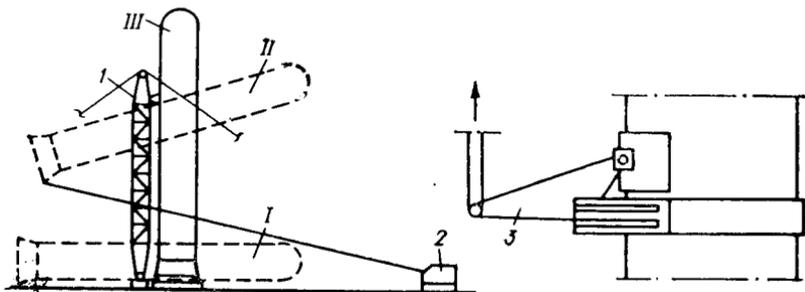


Рис. 9.10. Подъем аппарата укороченным порталом с применением консоли:  
 1 — портал; 2 — лебедка; 3 — консоль.

Аппарат выкладывается в исходном положении между стойками портала так, чтобы место строповки находилось на верхней образующей боковой поверхности аппарата. В этом месте осуществляется установка консоли.

На первом этапе подъема аппарат поднимается в горизонтальном или близком к нему положении до высоты, несколько превышающей положение центра тяжести в рабочем состоянии аппарата. Затем аппарат поворачивается в вертикальной плоскости вокруг места строповки при помощи оттяжки, укрепленной на опоре аппарата. Длина консоли подбирается такой, чтобы корпус аппарата при развороте не соприкасался с ригелем портала. Установка аппарата на фундамент осуществляется последовательными операциями опускания и оттягивания.

Консоль повышает безопасность разворота аппарата на высоте, так как рычаг консоли соединяется с двумя элементами, укрепленными на корпусе аппарата — бандажами и опорной накладкой, при этом рычаг сжимает опорную накладку и растягивает бандаж.

Аналогичным образом может осуществляться монтаж аппарата мачтой (рис. 9.11). Консоль хомутами укрепляется на корпусе аппарата, а низ аппарата оттягивается лебедкой или трактором.

**Монтаж гидроподъемником.** Схема монтажа представлена на рис. 9.12. Монтируемый аппарат с помощью крана устанавливается нижней частью на шарнир, верхней частью — на шпальную выкладку. К верхней части аппарата крепится тормозная оттяжка, которая включается в работу в положении неустойчивого равновесия для доведения аппарата под действием силы тяжести на место установки. Стойки гидроподъемника устанавливаются краном по обе стороны аппарата и расчаливаются. Опоры стоек соединяются полиспастами с поворотным шарниром поднимаемого аппарата. Подъем аппарата осуществляется траверсой, на которую аппарат опирается.

В местах крепления траверсы к корпусу аппарата на корпусе устанавливается разъемный хомут. От сдвига вдоль корпуса аппарата хомут удерживается стяжками и распорками, укрепляемыми за штуцера. На хомуте привариваются элементы шарнирной опоры.

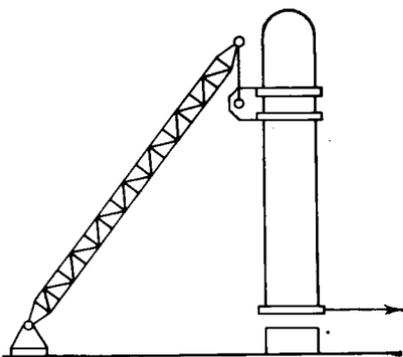


Рис. 9.11. Монтаж мачтой с оттяжкой низа аппарата трубоукладчиком.

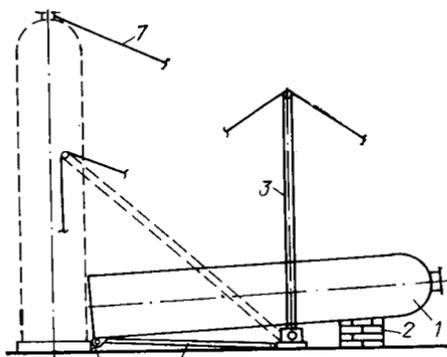
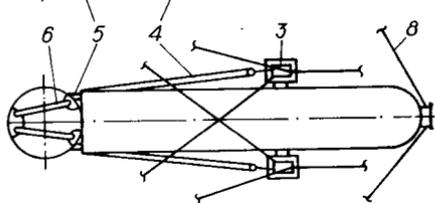


Рис. 9.12. Подъем аппарата гидроподъемником:

1 — аппарат; 2 — временная опора; 3 — гидроподъемник; 4 — стяжка; 5 — шарнирная опора; 6 — усилительные балки; 7 — тормозная оттяжка; 8 — боковая расчалка.



При неточной установке оснований стоек в исходное положение стойки при передаче на них нагрузки расходятся, образуя в плоскости подъема угол («ножницы»).

В процессе подъема стойки гидроподъемника постепенно наклоняются на угол  $45^\circ$ . Полиспасты, соединяющие опоры стоек и шарнирную опору аппарата, перед началом подъема подвергаются натяжению.

Боковые расчалки стоек в процессе подъема аппарата не работают, но при боковом ветре могут подвергаться натяжению.

При недостаточной длине стоек доведение аппарата до вертикального положения осуществляется методом выжимания путем подтаскивания опор стоек гидроподъемника полиспастами, связывающими опоры стоек с поворотным шарниром аппарата. Опоры стоек подтаскиваются поочередно на расстояние не более 0,5 м за одно включение лебедки. Движение опор стоек происходит по выровненному грунту или по металлическим подкладным листам, смазанным солидолом. После подъема аппарата на угол примерно  $80^\circ$  проводится натяжение тормозной оттяжки.

При установке несущих стоек в центре тяжести аппарата максимальный вес поднимаемого аппарата соответствует грузоподъемности стоек. Таким образом при установке аппарата в вертикальное положение стойки имеют наклон к горизонту  $45^\circ$ . Обычно несущие стойки гидроподъемника устанавливаются за центром тяжести аппарата в направлении от опоры. При большой высоте аппарата стойки могут устанавливаться ближе центра тяжести. В этом случае в шарнире возникает отрывающее усилие,

для преодоления которого опора шарнира должна крепиться к фундаменту анкерными болтами.

При весе аппарата, превышающем грузоподъемность стоек, несущие стойки устанавливаются за центром тяжести и аппарат поднимается до некоторого угла  $\alpha$ , при котором нагрузка на стойки не превышает грузоподъемности стоек. Из этого положения аппарат дотягивается до проектного положения тяговой системой.

**Монтаж стреловыми кранами.** Описанные ранее способы монтажа аппаратов мачтами применимы и при монтаже аппаратов стреловыми кранами. Аппараты можно поднимать способом скольжения и поворота, строповкой за верхний штуцер и за корпус аппарата, одним краном и двумя кранами, в один прием и в два приема с дотягиванием.

Недостатком кранов является снижение грузоподъемности и подстрелкового пространства при увеличении вылета крюка. Поэтому при подъеме кранами используются различные методы повышения грузоподъемности и высоты подъема, частично рассмотренные в гл. 8.

Метод подъема с использованием опорной стойки применяется для тяжелых аппаратов, высота которых превышает высоту подъема крана. До начала монтажа на аппарате укрепляется опорная стойка (рис. 9.13), которая через шарнир крепится к бандажу, устанавливаемому на корпусе аппарата. К основанию аппарата крепится тяга. Подъем осуществляется в два этапа. На первом этапе аппарат приподнимается на угол  $30-40^\circ$ , величина которого определяется высотой подъема кранов.

Опорная стойка соединяется с тягой и образует жесткий треугольник, при этом нижний конец опорной стойки упирается через опорный башмак в грунт, а угол между осями аппарата и опорной стойки должен быть менее  $90^\circ$ . В плоскости подъема опорная стойка удерживается боковыми оттяжками.

На втором этапе подъема краны (уравнительная траверса, подвешенная к полиспадам кранов) стропятся за нижний конец опорной стойки и осуществляют перевод аппарата в вертикальное положение. В положении неустойчивого равновесия в работу включается тормозная оттяжка.

Данный метод используется также для подъема аппаратов в стесненных условиях, когда невозможно применить дотягивающие средства.

При необходимости можно применять несколько опорных стоек, соединенных между собой на шарнирах. Сначала на подъем работает первая стойка, затем подъем осуществляется строповкой кранов за низ второй стойки и т. д.

Если в качестве тяги используются канат с полиспадом, высота подъема аппарата может быть увеличена за счет поэтапного уменьшения длины тяги.

Для снижения нагрузки на кран в момент отрыва аппарата от земли применяется дополнительная тяговая система гравитацион-

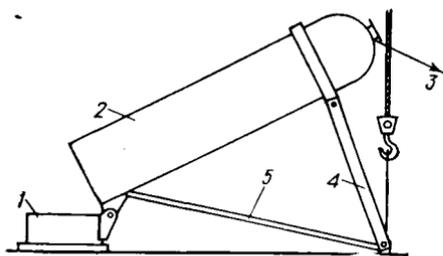


Рис. 9.13. Подъем аппарата с применением опорной стойки:

1 — шарнирная опора; 2 — аппарат; 3 — тормозная оттяжка; 4 — опорная стойка; 5 — тяга.

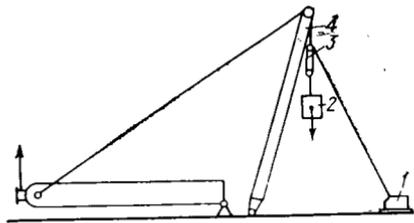


Рис. 9.14. Подъем краном и дополнительным грузом:

1 — лебедка; 2 — груз; 3 — полиспасть; 4 — шевр.

ного типа, состоящая из шевра (портала), полиспаста с грузом и лебедки (рис. 9.14). Дополнительный груз (железобетонный блок) в начальный момент поднимается лебедкой от земли.

Подъем аппарата осуществляется действием груза через портал и кран, грузовой трос которого стропится за верхний штуцер аппарата. В конце подъема груз опускается на землю, выполняя роль якоря, а лебедка дотягивает аппарат до проектного положения.

Утяжеление нижней части используется при подъеме кранами верхних блоков колонн, когда высота подъема кранов оказывается ниже центра тяжести блока в рабочем положении. Для увеличения высоты подъема под кран может насыпаться песчаная подушка.

Траверса с контргрузом на одном из крюков используется при строповке металлоконструкций за второй крюк траверсы. Это позволяет обеспечить вертикальное положение металлоконструкции при строповке за верхнюю ее половину.

## 9.2. МОНТАЖ РЕЗЕРВУАРОВ

Вертикальные цилиндрические резервуары находят применение на многих заводах для хранения нефтепродуктов и других жидкостей. Объем резервуаров может составлять 200; 400; 700; 1000; 2000; 3000; 5000; 10 000; 20 000; 30 000; 50 000 м<sup>3</sup>. Технология изготовления и монтажа цилиндрических резервуаров хорошо отработана; на все типоразмеры резервуаров имеются типовые ППР.

Схема резервуара представлена на рис. 9.15. Основными его узлами являются днище, цилиндрическая стенка, центральная стойка, покрытие, шахтная лестница. Поступление узлов резервуара на монтажную площадку осуществляется железнодорожным транспортом в следующем виде: 1) стенка резервуара — сварным полотнищем, навернутым на шахтную лестницу; 2) днище

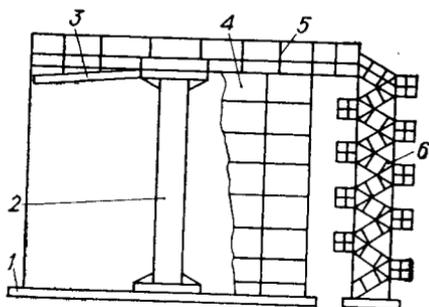


Рис. 9.15. Схема резервуара:  
1 — дно; 2 — центральная стойка; 3 — покрытие; 4 — цилиндрическая стенка; 5 — ограждение и площадка; 6 — шахтная лестница.

вертикального стыка стенки; 5) установку шахтной лестницы; 6) гидротиспытание.

При монтаже дна рулон накатывается на основание. Приспособления для перекачивания рулона состоят из крестовины, вставляемой внутрь рулона, и тяговых щек, к которым крепится канат, идущий к трактору. Затем проводится развертка полотнищ дна и правка их концов. Правка концевых участков полотнищ осуществляется путем перегиба соответствующего участка вокруг трубы с помощью груза, например железобетонного блока, подвешенного к крану. После укладки полотнищ в проектное положение их сваривают. Для прижима кромок дна при сварке используется приспособление, показанное на рис. 9.16. Для разметки дна применяется приспособление с чертилкой (рис. 9.17). Рабочий конец чертилки может изготавливаться путем наплавки пластины из твердого сплава. При разметке намечаются места приварки ограничивающих пластин, на которые затем опи-

резервуара — в виде одного или двух сварных полотнищ, накрученных на рулон стенки; 3) покрытие — отдельными сварными щитами; 4) площадки, ограждение — отдельными транспортными сварными узлами.

Технологическая схема монтажа резервуара включает в себя: 1) монтаж дна резервуара; 2) подъем рулона стенки резервуара; 3) установку центральной стойки; 4) развертывание рулона стенки, установку щитов покрытия и замыкание

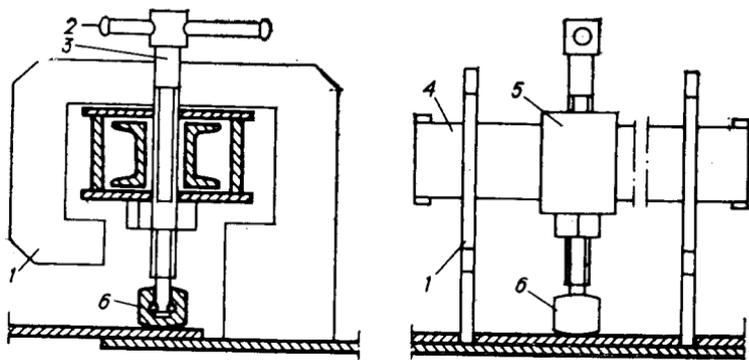


Рис. 9.16. Приспособление для прижима кромок дна:

1 — кронштейн; 2 — вороток; 3 — винт; 4 — балка; 5 — ползун; 6 — подпятник.

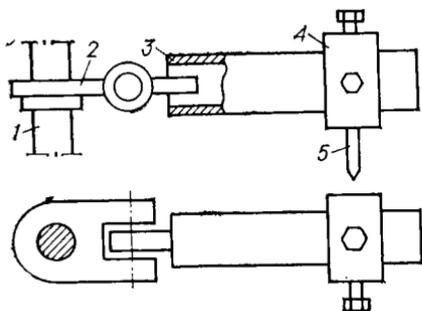


Рис. 9.17. Приспособление для разметки днаща:  
1 — ось; 2 — кронштейн; 3 — штанга; 4 — движок; 5 — чертилка.

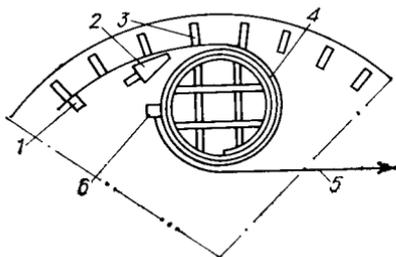


Рис. 9.18. Развертывание рулона:  
1 — временный упор; 2 — клиновой упор; 3 — ограничительная пластина; 4 — рулон;  
5 — канат; 6 — скоба.

рается полотнище при развертке рулона. Все сварные швы проверяются на герметичность вакуум-камерой.

Подъем рулона стенки резервуара осуществляется краном методом поворота вокруг шарнира. Для этой цели изготавливается шарнир и крепится сваркой к рулону и днищу. Центральная стойка устанавливается в проектное положение краном и укрепляется растяжками.

Рулон стенки удерживается в сжатом свернутом состоянии с помощью планок, привариваемых по всей высоте к внешней кромке рулона. При развертывании рулона возможно: 1) самопроизвольное распушивание витков рулона при срезании удерживающих планок; 2) резкое распушивание внешних витков во время развертывания полотнища и даже свободно стоящего рулона; 3) обратное закручивание полотнища на некоторых участках; 4) отклонение разворачиваемого полотнища от вертикали из-за неровности поверхности основания и ветра.

Для плавного распушивания рулон обматывается 2—3 витками каната, который натягивается трактором. Канат одним концом крепится к трактору, вторым — за скобу, служащую для разворачивания рулона и привариваемую к рулону на высоте 1,3 м.

На рулон устанавливается навесная лестница, с которой ведется срезка удерживающих планок, после чего путем ослабления натяжения каната осуществляется распушивание рулона. При развертывании рулона начальная кромка фиксируется временным упором (рис. 9.18). По мере развертывания рулона возникает необходимость в приварке новых скоб. Для этого устанавливается клиновой упор, натяжение каната ослабляется до прижатия рулона к клиновому упору, канат отсоединяется, скоба срезается и приваривается в новом месте.

По мере развертывания рулона полотно стенки прижимается к ограничительным пластинам и прихватывается сваркой к днищу.

Одновременно с разворачиванием рулона осуществляется установка щитов покрытия и их приварка. Затем проводится сварка замыкающего вертикального монтажного стыка, установка замыкающего щита покрытия, монтаж шахтной лестницы. Заключительной операцией является гидроиспытание резервуара.

Очистка и окраска резервуаров осуществляется с временных лесов или с приспособления, состоящего из подвесной многоярусной люльки, высота которой равна высоте резервуара. На площадке люльки рабочие поднимаются по монтажной лестнице. По мере выполнения работ люлька вручную передвигается по периметру резервуара. Для этой цели к центральному люку резервуара крепится шарнир с разборной штангой из труб. Длина штанги регулируется в зависимости от диаметра резервуара. Вся конструкция опирается на крышку резервуара посредством опорных роликов, изготовленных из отрезков труб.

### 9.3. МОНТАЖ НАСОСОВ И КОМПРЕССОРОВ

Проверка и подготовка фундамента под насос или компрессор заключается в следующем. Фундамент не должен иметь трещин, пустот и оголенной арматуры, что проверяется наружным осмотром. После наружного осмотра проверяются размеры фундамента, его высотные отметки, а также расположение относительно осей здания. Для этого краской или мелом на фундамент наносятся середины межцентровых расстояний колодцев под фундаментные болты.

При проверке крупного фундамента по осям его натягиваются струны, проводятся обмеры фундамента с помощью отвесов и рулетки, нивелиром или гидроуровнем проверяются высотные отметки.

После устранения обнаруженных дефектов фундамент принимается под монтаж. Подготовка к монтажу оборудования заключается в разметке и подготовке мест установки подкладок. Подкладки устанавливаются по обе стороны каждого колодца под фундаментные болты, а также под опорами насоса и двигателя в соответствии с формой фундаментной плиты. Места установки подкладок выравниваются зубилом; они должны быть горизонтальными, располагаться на одной высоте с допуском до 5 мм и иметь размеры на 10—20 мм больше размеров подкладок. Наиболее распространенные размеры подкладок 100×100, 200×150, 75×150 мм. Желательно, чтобы количество подкладок в одном пакете не превышало трех, а высота пакета составляла 25—60 мм.

По окончании подготовительных работ, связанных с проверкой и подготовкой фундамента, проводится ревизия (разборка и сборка) насоса, установка насоса и привода на фундамент, центрирование привода с насосом.

Ревизия насоса заключается в наружном осмотре, разборке и сборке, проверке всех деталей и измерении всех необходимых

зазоров. При наружном осмотре проверяется наличие всех гаек, пробок, контрольных шпилек, отсутствие повреждений корпуса насоса, корпусов подшипников, арматуры и трубопроводов. Вручную проверяется легкость вращения ротора.

При разборке насоса снимается крышка (для насосов с горизонтальным разъемом) и ряд деталей (крышки подшипников, сальники, верхние половины вкладышей). При необходимости разбирается ротор. Разъем корпуса уплотняется прокладкой или мастикой из свинцовых белил и сурика, разведенных бакелитовым лаком.

Проверка деталей ротора заключается в определении биения втулок, рабочих колес, полумуфты, вала. Биение проверяется индикатором в собственных опорах ротора или в центрах токарного станка. Проверяются также радиальные зазоры в уплотнениях рабочих колес и осевые зазоры между уплотнительными кольцами и колесами насоса.

Проверка подшипников заключается в контроле по краске прилегания вкладышей подшипников скольжения к расточкам корпусов и к шейкам вала. Один из подшипников насоса фиксирует положения ротора, т. е. является опорно-упорным, а второй подшипник для компенсации тепловых расширений является только опорным. В опорном подшипнике при ревизии проверяется зазор между галтелью вала и вкладышем подшипника (или между подшипником качения и расточкой корпуса). При повышении температуры перекачиваемой жидкости величина осевого зазора в опорном подшипнике также увеличивается. Измеренный осевой зазор должен соответствовать зазору, указанному в паспорте насоса.

При сборке насоса на разъем корпуса укладывается новая прокладка из паронита или электрокартона либо разъем смазывается мастикой. После установки крышки проверяется легкость вращения ротора.

Насосы небольшой производительности поставляются смонтированными на общей фундаментной плите под насос и электродвигатель. Для насосов, поставляемых без рамы, при монтаже изготавливается сварная фундаментная рама, на которой до установки ее на фундамент центрируется насос с электродвигателем. Затем рама устанавливается на фундаменте на плоских или парных клиновых подкладках, в колодцы фундамента заводятся анкерные болты. Расстояние между подкладками по периметру рамы выдерживается в пределах 300—500 мм в зависимости от веса насоса и двигателя. Подкладки размещаются по обе стороны фундаментных болтов. Установка по осям фундамента осуществляется перемещением насоса в нужную сторону.

Далее проверяется положение насоса в горизонтальной плоскости по уровню. Для этого снимаются крышки и верхние вкладыши подшипников, а уровень укладывается на шейки вала. Для насосов с подшипниками качения уровень устанавливается

на полумуфте. Длинные роторы имеют заметный прогиб от собственного веса, поэтому для крупных насосов уклоны на шейках вала должны быть примерно одинаковыми и направлены в противоположные стороны. Регулировка горизонтальности осуществляется подкладками.

По окончании выверки подкладки прихватываются электросваркой друг к другу и фундаментные рамы вместе с фундаментными болтами подливаются бетонной смесью. После затвердевания подливки проводятся подтяжка фундаментных болтов и контрольная проверка центрирования насоса и двигателя. При необходимости исправление центрирования выполняется изменением толщины подкладок под опорами электродвигателя. После подливки фундаментной рамы осуществляется присоединение всасывающего и нагнетательного патрубков.

Если насос поступает в собранном виде с закрытыми опломбированными патрубками, полная ревизия не проводится. Проверяются только подшипники и уплотнения.

Прокладки для регулировки зазора между коленчатым валом и шатуном изготавливаются из медной фольги. Прокладки вырезаются ножицами и зажимаются между пластинами, в которых имеются отверстия, соответствующие положению и диаметру отверстий головки шатуна.

Центробежные компрессоры имеют большую частоту вращения (12 000—15 000 об/мин) и требуют повышенной точности при установке на фундаменте и центровке валов составляющих механизмов агрегата. Поставка их осуществляется отдельными узлами. На монтажной площадке приходится повторять сборку, ранее выполненную на сборочном стенде завода. Для снижения трудоемкости монтажа используется сборка блоков путем укрупнения узлов в приобъектовых мастерских или на монтажной площадке.

Для возможности выверки без разборки на корпусе компрессора завод-изготовитель выполняет обработанные горизонтальные площадки (реперы) для установки уровня при проверке горизонтальности в двух направлениях по оси и поперек оси вала ротора.

Консервирующая смазка удаляется без разборки с охлаждающим маслом при нагреве до 50—55 °С в первый же период обкатки компрессора.

Трудоемким является монтаж маслостанций систем централизованной смазки. Маслостанция собирается в блок в мастерской. Все оборудование (маслобак, насосы, фильтры, теплообменники, арматура и маслопроводы) монтируется на раме поддерживающей металлоконструкции в единый блок и транспортируется в машинный зал, где устанавливается на черный пол без фундамента. На месте изготавливаются только маслопроводы от маслостанции к компрессору.

Целесообразна установка на общей раме всех механизмов агрегата (компрессора, редуктора, двигателя), даже если они поставляются отдельно. Это позволяет параллельно вести сборку

агрегата и изготовление фундамента. Рама упрощает установку и выверку агрегата.

Экономическая эффективность блочного монтажа компрессора достигается за счет исключения при блочном монтаже трудоемких операций поузловой выверки машины на фундаменте, работ по разборке, пригонке, регулировке и сборке узлов.

#### 9.4. МОНТАЖ ТРУБОПРОВОДОВ

Из-за большого количества трубопроводов на химическом предприятии трудоемкость их монтажа составляет примерно 40% от общей трудоемкости монтажных работ. При монтаже выполняются следующие операции: резка труб, гнутье труб, сварка труб, приварка фланцев, термообработка стыков, сборка плетей, монтаж плетей, гидротиспытания, теплоизоляция. Все монтажные операции являются простейшими. Их выполнение может осуществляться с применением разнообразных приспособлений.

Резка труб при монтаже трубопроводов проводится с выполнением прямых и косых резов, вырезкой гнезд в трубах, обработкой штуцеров, врезаемых в трубу. Разметка труб осуществляется с использованием шаблонов, вырезаемых из бумаги, толи.

На рис. 9.19 показан циркуль для разметки врезок, состоящий из неподвижной ножки 1, линейки 3, движка 4 и чертилки 5. Линейка вращается на втулке вокруг неподвижной ножки и имеет деления для установки радиуса врезки. По линейке перемещается движок, в котором установлена чертилка, имеющая возможность перемещения в направлении, перпендикулярном линейке. Чертилка (или вращающаяся ножка) при вращении очерчивает контур врезки. Косые врезки размечаются при установке неподвижной ножки под необходимым углом к оси трубы.

Резка труб осуществляется установкой для газопламенной и плазменной резки, выполняющей прямой, косой и фасонный резы, и маятниковой пилой с абразивными армированными кругами диаметром 300 и 400 мм. Для резки труб малого диаметра (32—159 мм) используется установка с вращающейся трехроликовой головкой.

После резки труб газовым резаком должна проводиться механическая обработка торцов. Более качественный рез получается при резке абразивным кругом толщиной 3 мм. Резка труб абразивным кругом может осуществляться на приспособлении, имеющем опорные ролики, упор-измеритель длины отрезка и вращатель трубы.

Для отрезки концов труб диаметром 100—500 мм и снятия фасок применяется установка, снабженная оправкой, центрирующей установку по внутренней поверхности трубы.

Гнутые детали трубопроводов изготавливаются на заводах монтажных заготовок. При необходимости гибки труб в процессе

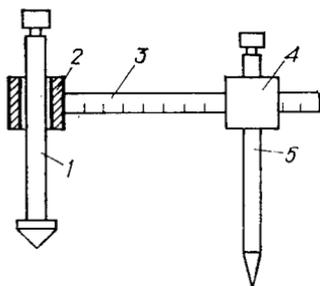


Рис. 9.19. Циркуль для разметки врезок:

1 — неподвижная ножка; 2 — втулка; 3 — линейка; 4 — движок; 5 — вращающаяся ножка (чертилка).

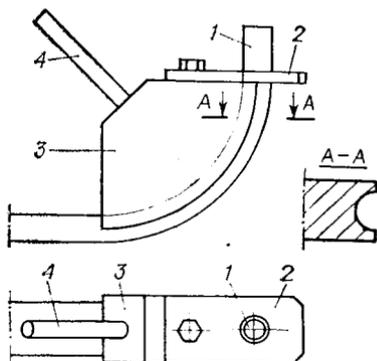


Рис. 9.20. Приспособление для гнутья труб малого диаметра:

1 — труба; 2 — захват; 3 — сектор; 4 — рукоятка.

монтажа трубы диаметром 200 мм гнутся на трубогибочных станках в холодном состоянии, а трубы диаметром более 200 мм — в горячем состоянии. Для сохранения формы в местегиба трубы диаметром  $>100$  мм набиваются сухим речным песком с установкой деревянных пробок на концах трубы. При засыпке песка трубы простукиваются для увеличения плотности засыпки.

Эффективное и быстрое уплотнение песка в трубах осуществляется виброспособом. Труба устанавливается вертикально в стакане приспособления. Стакан получает колебания от эксцентрика. Верхний конец трубы пропускается через кольцо на загрузочной площадке.

При изгибе труб малого диаметра ( $<32$  мм) может применяться приспособление (рис. 9.20), позволяющее осуществлять гибку в холодном состоянии. Сектор, являющийся основной деталью приспособления, изготавливается с полукруглой канавкой для направления трубы при гibe. Радиус сектора соответствует радиусугиба трубы. Приспособление устанавливается на трубе с помощью захвата и при помощи рукоятки обкатывается по трубе.

При гибке труб вместо набивки песка используется также установка дорна, набранного из отдельных текстолитовых колец. Кольца собираются в компактный дорн с помощью болтовой пары, скрепляющей кольца по оси. Диаметр колец соответствует внутреннему диаметру трубы. Применение такого дорна позволяет получать гибы без гофр и сплющивания. Благодаря хорошему скольжению текстолита по металлу внутренняя поверхность трубы получается гладкой.

Отводы из нержавеющей труб диаметром 89—426 мм изготавливаются на специальном станке для гнутья при нагреве токами высокой частоты до 1050—1150 °С.

При вальцовке наружная поверхность концов труб шлифуется с помощью приспособления, в котором абразивный материал поджимается к поверхности трубы пружинами. Пружины и абразив устанавливаются в стаканах, изготовленных из отрезков труб. Приспособление получает вращение от электро- или пневмодвигателя, а вдоль трубы перемещается вручную.

При сборке труб под сварку вследствие отклонений размеров по диаметру и толщине стенки возникает необходимость в калибровке или расточке. Калибровка концов труб осуществляется их раздачей коническими пуансонами в холодном состоянии, а при диаметре труб более 300 мм — в горячем состоянии.

Сварка нержавеющей труб малого диаметра может осуществляться контактно-стыковым методом. Автоматический процесс контактно-стыковой сварки состоит из прерывистого подогрева, непрерывного оплавления и осадки. Подогрев осуществляется смыканием и размыканием длительностью 0,2—2 с свариваемых труб при включенном сварочном токе. Усилие осадки в зависимости от марки стали составляет 40—170 МПа.

Для вращения труб при автоматической сварке используются вращатели, состоящие из рамы и двух опор с катками. Катки одной опоры имеют привод от электродвигателя постоянного тока и прижим трубы. Вторая опора является поддерживающей и может перемещаться в горизонтальном направлении по раме.

Клеевые соединения при монтаже трубопроводов позволяют снизить трудоемкость и сроки монтажа. Особенно удобно применение клеевых соединений при монтаже в тесных для работы местах. Для склеивания труб применяются композиции на основе эпоксидных, фенольно-формальдегидных, полиуретановых или кремнийорганических смол. Конструкции стыков труб (рис. 9.21) обеспечивают восприятие тангенциальных и радиальных усилий материалом труб, а клеевой шов испытывает только осевые нагрузки растяжения и сжатия.

Недостатками клеевых соединений является невысокая теплоустойчивость (200 °С), склонность к старению.

При сборке трубных элементов, состоящих из прямого участка трубы и трубной заготовки наиболее частой операцией является соединение фланца с трубой.

При большом количестве фланцев для сокращения потерь времени на их разметку используются различные приспособления и шаблоны.

Трехкулачковый патрон позволяет зажимать фланцы различного диаметра, а наличие на боковой поверхности патрона равномерно расположенных отверстий при их числе, например 16 и 24 в двух рядах, дает возможность получать при разметке 4; 6; 8; 12 и 16 отверстий.

Приспособление, позволяющее проводить выверку фланца на трубе сразу в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

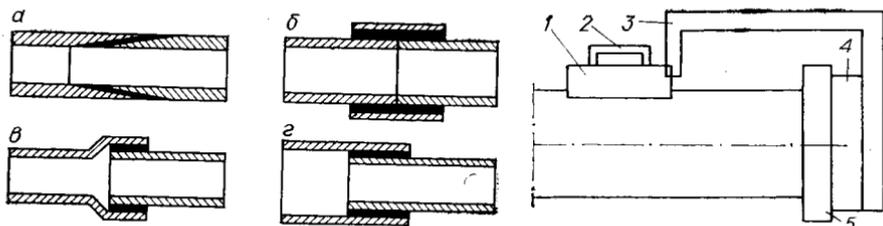


Рис. 9.21. Клеевые соединения труб:

*a* — конусное; *б* — на муфте; *в* — раструбное; *г* — телескопическое.

Рис. 9.22. Приспособление для выверки фланцев при их сварке:

1 — уголок; 2 — рукоятка; 3 — скоба; 4 — контрольная крестовина (диск); 5 — фланец.

(рис. 9.22), состоит из уголка или призмы 1, рукоятки 2, скобы 3, контрольного диска 4 и ребер жесткости 5.

При большом количестве фланцев для их напасовки может использоваться также приспособление, основным элементом которого является пневмопатрон с кулачками, фиксирующими положение фланца. Это приспособление позволяет устранить затраты времени на проверку правильности стыковки фланца с трубой.

Приварка фланцев к трубам ускоряется при использовании поворотного стола. Поворачивая стол, сварщик из одного положения приваривает фланец к трубе. Высота стола для удобства выполнения сварки регулируется. Фланец, прихваченный к трубе, устанавливается для сварки по оси поворотного стола.

При большом количестве отводов зачистка сварных швов после приварки фланцев может осуществляться на токарном станке с применением специального приспособления (рис. 9.23).

Для центровки труб большого диаметра при сварке применяются механический или пневматический цепной центратор. Основным элементом центратора является пластинчатая цепь, в каждом шарнире которой установлен ролик. При обжатии стыка цепью ролики прижимаются к стыку и осуществляют центровку его кромок. Сварка проводится при вращении труб, и ролики, имеющие возможность вращения, не препятствуют прихватке и сварке стыка.

Центратор для центровки труб выполняется в виде цепного пояса, состоящего из подвижных звеньев с роликовыми опорами и натяжного винта (или гидравлического натяжного устройства). Применяются также клещевые центраторы.

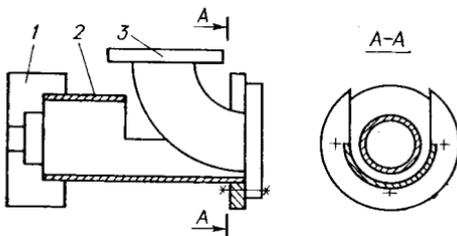


Рис. 9.23. Приспособление для обработки сварных швов на отводах:

1 — патрон; 2 — оправка; 3 — отвод.

Для центровки труб малого диаметра при сварке используется приспособление (рис. 9.24), позволяющее осуществлять центровку труб различного диаметра. Для этой цели длина хомута регулируется регулировочной винтовой парой, а центровка трубы на приспособлении проводится с помощью двух опорных призм и прижимной винтовой пары.

Для изготовления переходов для трубопроводов необходим пневматический молот и приспособление, изображенное на рис. 9.25. Нагрев заготовок осуществляется в печи или горне до температуры 900—1100 °С. Матрица во избежание горизонтальных перемещений приваривается к ограничительному коробу. Отштампованный переход после некоторого охлаждения выбивается из матрицы. Фаски под сварку снимаются на токарном станке.

Для погрузки и укладки плетей трубопроводов используются траверса и приспособление, собранное из швеллеров, уголков и болтов. Швеллера и уголки образуют несколько настилов, на которые укладываются трубы. Положение плетей трубопроводов фиксируется досками. Настилы укладываются один на другой и соединяются стяжными болтами. Приспособление подвешивается к траверсе в нескольких точках.

Сборка плетей проводится на сборочных стендах, снабженных передвижными тележками, на которые устанавливаются сменные приспособления для сборки патрубков с отводами, тройниками, переходами, фланцами. На стендах же осуществляется прихватка элементов.

Собранные плети передаются на сварочные посты для сварки поворотных стыков. Вращение плетей при сварке производится универсальным вращателем, а сварка выполняется автоматами, которые вместе с поддерж-

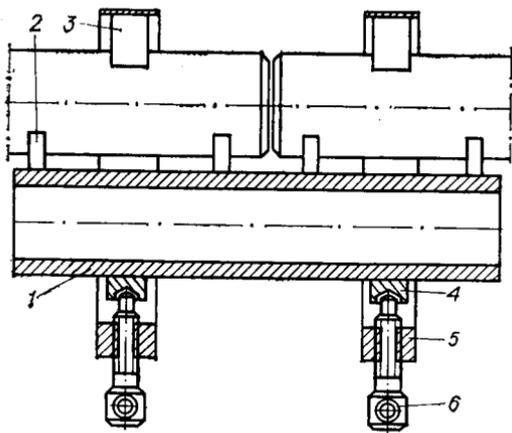


Рис. 9.24. Приспособление для центровки труб при сварке: 1 — основание; 2 — опорная призма; 3 — прижимная призма; 4 — опора для винта; 5 — хомут; 6 — винт.

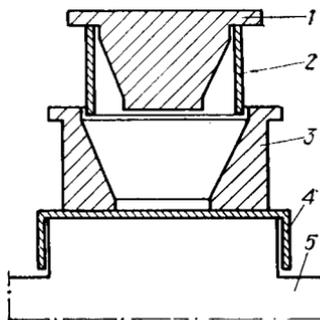


Рис. 9.25. Приспособление для штамповки переходов: 1 — пуансон; 2 — трубная заготовка; 3 — матрица; 4 — короб-ограничитель; 5 — основание молота.

вающей тележкой перемещаются по рельсовому пути. Поддержка плетей осуществляется передвижными роликоопорами.

Из отдельных плетей собираются плоский или пространственные узлы.

При большой разбросанности объектов централизованное изготовление секций трубопроводов на производственных базах монтажных управлений становится нерентабельным. В этом случае используется передвижная установка, прицепляемая к автомобилю. Она состоит из телескопического рольганга, оснащенного сферическими роликоопорами, и домика сварщика.

Монтаж трубопроводов на подвесках осуществляется отдельными плетями длиной примерно 20 м с помощью монтажного крана, при этом центровка и сварка стыков плетей ведется на высоте со специальных лесов. При монтаже трубопроводов укрупненными блоками трубы и плети укладываются вдоль трассы трубопровода и свариваются на земле. Монтаж укрупненных блоков ведется двумя кранами с использованием подвесок.

При монтаже трубопроводов предусматривается возможность компенсации неточностей установки оборудования в плане и по высоте и неточностей изготовления и монтажа плетей трубопроводов. Для этого на компенсирующем участке линии должна предусматриваться установка отдельных отрезков труб с припуском (катушек). После монтажа трубопровода и соответствующих замеров по месту припуск катушки удаляется на токарном станке и катушка устанавливается в проектное положение и приваривается.

Необходимость в компенсации отклонений размеров труб увеличивается при блочном монтаже.

Для снятия напряжений в толстостенных стыках и получения однородной микроструктуры наплавленного и основного металла необходима термообработка. При термообработке ширина равномерно нагреваемой зоны в каждую сторону от стыка должна быть не менее двойной ширины шва. Температура нагрева при термообработке в зависимости от марки материала изменяется от 600 до 1100 °С. Продолжительность выдержки при нагреве составляет 1—5 ч. Нагрев может осуществляться индукционным методом, разъемными муфельными печами, газовыми горелками. При использовании газовых горелок на трубу надевается стальная или асбестовая воронка для равномерного распределения пламени по всей окружности стыка.

Термообработка сварных швов труб осуществляется гибкими поясами для индукционно-радиационного нагрева. Индукционный нагреватель представляет собой конструкцию из двух тонких пластин нержавеющей стали, между которыми нагнуто несколько рядов нихромовой проволоки, уложенной в керамические кольца. Пояс длиной  $\geq 5$  м наматывается на стык в виде спирали, обеспечивающей не только тепловой, но и индукционный нагрев. Сверху пояс укрывается теплоизоляционным матом. Кроме термообработки

эти нагреватели используются для предварительного и сопутствующего нагрева кромок при сварке.

Для термообработки сварных швов используются передвижная установка с автоматическим управлением режимом термообработки и возможностью одновременной обработки нескольких швов. Для электронагревателей используются сварочные источники питания (сварочные трансформаторы, генераторы и выпрямители), позволяющие регулировать силу питающего тока. На вертикальной поверхности электронагреватели удерживаются бандажными поясами.

## ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Пусконаладочные работы являются завершением монтажных работ. Из-за сложности пуска оборудования наладочные работы выполняются специализированными пусконаладочными управлениями. Специализированные бригады осуществляют также пуск и наладку оборудования после ремонта, если пуск является сложным для предприятия, эксплуатирующего оборудование.

Использование специализированных пусконаладочных подразделений для проведения подобных работ объясняется определенным опытом у специалистов-пусконаладчиков по выявлению причин неполадок оборудования и сокращению сроков введения оборудования в эксплуатацию. Пусконаладочные работы начинаются после выполнения работ по строительству объекта примерно на 95—98%. Инженеры по пусконаладочным работам назначаются на работу за 3—4 месяца до окончания строительства. Одной из главных их задач является составление инструкций по эксплуатации, которые используются при обучении операторов. Обучение операторов начинается не менее, чем за 1,5 месяца до окончания строительства. Проведение пусконаладочных работ осуществляется пусконаладочными отраслевыми или специализированными производственными управлениями. Отраслевые производственные управления занимаются пуском производств отдельных отраслей промышленности (органические полупродукты и красители, пластмассы и синтетические смолы, химические средства защиты растений, химволокно, удобрения, сода). Специализированные производственные управления занимаются пуском общезаводских систем: 1) системы промышленной вентиляции, установки кондиционирования воздуха, установки пневмотранспорта, установки очистки промышленных выбросов в атмосферу; 2) водопровод и канализация, очистные сооружения, системы водоснабжения, системы оборотного водоснабжения; 3) контрольно-измерительные приборы и автоматика; 4) холодильные и компрессорные станции, блоки разделения воздуха.

Пусконаладочные организации совместно с предприятиями проводят работу по подготовке к пуску, пуск, наладку и освоение мощностей новых, расширяемых и реконструируемых объектов (производств, цехов, установок, сооружений, систем).

I. Период работы с проектной документацией. Пусконаладочные организации привлекаются к рассмотрению технических

проектов с целью своевременного внесения в них замечаний и рекомендаций, основанных на опыте пуска и освоения аналогичных объектов.

II. Период строительно-монтажных работ и подготовки объекта к пуску.

1. Работы на объекте начинаются с разработки плана организации подготовительных и пусконаладочных работ. В плане должны быть отражены: а) технологическая последовательность, график и сроки проведения подготовительных и пусконаладочных работ (для сложных технологических объектов составляется сетевой график); б) специальные проектные решения по пусконаладочным вопросам; в) график разработки технической документации по подготовке оборудования, узлов, агрегатов и систем к пуску и наладке; г) график разработки эксплуатационной технической документации; д) подготовка кадров и организация работы на объекте.

2. По согласованию сторон пусконаладочные организации могут осуществлять инженерный надзор за монтажом оборудования. От качества монтажа оборудования зависит успешное проведение пусконаладочных работ, поэтому инженерный надзор заключается в контроле основных операций, определяющих работу оборудования: выявление отступлений от проекта, проверка состояния оборудования, трубопроводов, арматуры и приборов при передаче их в монтаж, вертикальности и горизонтальности установки монтируемых аппаратов, монтажа внутренних устройств аппаратов (насадки, распределительных устройств, теплообменных элементов), правильности натяжки ремней, лент, качества сварных швов, выявление недоделок монтажа и контроль за их устранением.

3. Руководство работами по предпусковой ревизии оборудования.

4. Корректировка эксплуатационной технической документации, в том числе технологического регламента, общецеховых инструкций, пусковых инструкций, плана ликвидации аварий.

5. Техническое руководство проведением промывок, продувок и испытаний на плотность и прочность.

6. Инженерный контроль за качеством проведения индивидуальных испытаний оборудования на холостом ходу и под нагрузкой, проводимых монтажной организацией.

III. Пусковой период.

1. Проведение комплексного опробования оборудования на инертных средах с проверкой всех узлов технологической схемы.

2. Подготовка оборудования к пуску на рабочих средах, устранение недостатков, выявленных при комплексном опробовании.

3. Пуск производства на рабочих средах.

4. Отработка технологического режима и выявление неполадок в работе оборудования в процессе пуска с выдачей рекомендаций по их устранению.

5. Комплексный пуск производства и вывод его на проектный технологический режим.

#### IV. Период освоения мощностей.

1. Проведение испытаний оборудования на проектных нагрузках.

2. Оперативное ведение технологического процесса на отдельных рабочих местах объекта.

3. Снятие материального и энергетического балансов производства и определение фактических расходных коэффициентов.

4. Анализ работы оборудования и его межремонтных пробегов.

5. Определение фактических технико-экономических показателей.

6. Участие в разработке и выполнении оргтехмероприятий по ликвидации «узких мест», наращиванию мощностей, снижению расходных норм на сырье и энергетику.

7. Составление технического отчета о проделанной работе.

Перечисленные виды работ могут выполняться полностью или частично. Все изменения параметров технологического режима осуществляются по письменному разрешению технического руководителя пуска. Если пуск производства строго по регламенту оказывается невозможным, составляются временные технические условия на пуск и наладку объекта. В этих условиях указываются все допускаемые отклонения показателей качества продукции, допустимые пределы отклонений в нормах технологического режима и особые условия.

Пуск оборудования всегда связан с некоторыми затруднениями. Вероятность отказов оборудования в период пуска выше, чем при нормальной работе. При проведении процесса наблюдается несоответствие показаний приборов расчетным значениям параметров. Например, наблюдается несоответствие действительного давления в аппаратуре расчетному, что требует определенных усилий по выявлению причин от пусконаладчиков и консультаций с проектировщиками.

Основные причины неполадок — поломки и непригодность оборудования. При пуске возможны такие неполадки, как утечка среды, выход из строя валов, колес, забивка линий. Если поломки оборудования составляют 60% всех неполадок, то из этого количества одна треть может приходиться на несоответствие установленного оборудования проектным показателям процесса. Это бывает связано с недостаточно аккуратным составлением спецификаций на вспомогательное оборудование или поставкой оборудования, близкого по параметрам, но не соответствующего проекту.

При пусконаладке причины отказов распределяются на следующие группы: 1) неисправность оборудования — 55—60%; 2) ошибки проекта — 10%; 3) низкое качество монтажно-строительных работ — 15%; 4) ошибки аппаратчиков — 10—15%.

Часто в емкостях остаются электроды, болты, ветошь, рукавицы. Ошибки проекта частично устраняются монтажниками,

частично выявляются в процессе пусконаладочных работ; ошибки операторов и аппаратчиков также психологически оправданы в период пуска оборудования.

Обычно в эксплуатацию первыми вводятся вспомогательные цеха (цех инертного газа, водоподготовка и т. д.), затем осуществляется пуск основных цехов. Опробование технологических линий проводится сначала на воде и воздухе. При этом обнаруживаются места утечки и осуществляется герметизация этих мест, выявляются ошибки проектировщиков и строителей. Для удаления оставленных предметов трубопроводы промываются водой со скоростью потока не менее 3 м/с. Трубопроводы, в которых при дальнейшей эксплуатации недопустима влага, продуваются воздухом со скоростью потока не менее 60 м/с.

Ремонтный цех в этот период занимается подготовкой запчастей и контролем за пуском такого оборудования, как насосы, компрессоры, вентиляторы. Работы по изготовлению запчастей, необходимых для немедленной установки, проводятся с максимальной быстротой. Работают все технические службы и центральная заводская лаборатория. Наладчики работают совместно с эксплуатационниками, передавая им на ходу действующее производство.

Перед пуском установок проверяется правильность монтажа всех элементов технологической схемы. При этом наладчики пользуются перечнем объектов, которые подлежат проверке. Сюда входят такие вопросы, как правильно ли установлены предохранительные устройства, сигнальные приборы, фильтры и т. д.

В пусконаладочных работах принимают участие наладчики, эксплуатационный персонал, руководители вводимых в эксплуатацию цехов или установок, руководитель предприятия и проектировщики.

Расходы на пусконаладочные работы при пуске нового производства составляют 10—15% от суммы затрат на проектирование и строительство производства. При пуске повторяющегося производства эти затраты уменьшаются до 5—10%, а при пуске абсолютно нового производства возрастают до 15—20%.

При пуске химического предприятия осуществляется наладка следующих групп оборудования: технологического и энергосилового оборудования, КИП, тепловых сетей, вентиляционных и воздушных сетей, теплотехнических установок, сетей оборотного водоснабжения.

При пусконаладочных работах, когда еще не выполнены электромонтажные работы, т. е. не подключены электродвигатели, прокрутка механизмов на холостом ходу проводится с помощью специальной установки, подключаемой к временным электрическим сетям.

Особое внимание уделяется таким операциям, как продувка аппаратов и трубопроводов, загрузка катализатора, монтаж компрессоров. Загрузка катализатора осуществляется при

тщательном просеивании и взвешивании, замере перепада давления по отдельным трубкам контактного аппарата с точностью до 5%.

Установки для переработки углеводородов осушаются в течение 3—4 суток продувкой азотом для удаления влаги из наиболее вероятных мест ее скопления — тупиковых участков, нижних точек аппаратов. При тщательной подготовке системы длительность пуска и вывода установки на нормальный режим не превышает 48 ч. В процессе инженерного надзора обнаруживаются различные дефекты, которые фиксируются в журнале инженерного надзора в графе «Техническое описание дефекта». Ниже приводятся некоторые характерные дефекты:

- 1) установка аварийного клапана без регулировки на рабочее давление;
- 2) закрытие люков обслуживающими площадками;
- 3) отсутствие обслуживающих площадок;
- 4) соприкасающиеся части герметических дверей во взрывоопасных производствах не снабжены неметаллическими контактными накладками для исключения искрообразования;
- 5) отсутствие мягких вставок на линиях нагнетания и всасывания вентилятора;
- 6) отсутствие отверстий для удаления воды (атмосферные осадки, конденсированная влага);
- 7) выступание сливного патрубка выше дна, что затрудняет полный слив жидкости из аппарата;
- 8) недостаточная жесткость элементов аппаратов (отсутствие ребер жесткости);
- 9) нарушение соосности, вызывающее шум и вибрацию;
- 10) некачественная теплоизоляция и антикоррозионные покрытия;
- 11) установка подшипников на прессовой насадке вместо скользящей;
- 12) установка стальной трубопроводной арматуры вместо чугунной.

Выявленные конструктивные недостатки оборудования обобщаются пусконаладочными организациями и представляются в виде рекомендаций и замечаний заводам-изготовителям. Особое внимание обращается также на надежность и безопасность эксплуатации оборудования. Формулируются также предложения о реконструкции или модернизации оборудования. При наладке основной операцией является испытание оборудования.

Тепловые, температурные и гидравлические испытания тепловых сетей позволяют определить фактические теплотери в сетях, оценить качество и состояние изоляции путем сравнения действительных их значений с нормативными данными и наметить мероприятия по уменьшению потерь. При температурных испытаниях проверяется компенсирующая способность трубопроводной сети при нагреве теплоносителя до расчетной температуры

с проверкой работы компенсаторов и опор, а также выявляются дефекты монтажа, которые в дальнейшем могут быть устранены в летний период.

При гидравлических испытаниях водяных тепловых сетей определяются гидравлические характеристики трубопроводов и их пропускная способность, выявляются те участки, на которых повышенное сопротивление вызвано засорением, неисправностями запорной арматуры, деформацией труб и другими причинами.

При наладке технологического оборотного водоснабжения работы ведутся с целью выравнивания расходов воды по всем технологическим линиям, обеспечения нормального охлаждения технологической аппаратуры, расчетного охлаждения воды в градирнях и требуемой степени очистки ее при фильтровании.

Наладка и испытание воздушных сетей позволяет обнаружить утечки воздуха и, таким образом, облегчить работу компрессорных установок. Испытание поршневых компрессоров проводится со снятием индикаторных диаграмм и их анализом. Весь комплекс наладочных работ по пуску компрессора оформляется необходимой технической документацией.

Причинами неэффективной работы вентиляции является низкое качество проектирования, монтажа и эксплуатации установок. Основные недостатки проектов заключаются в неточном определении воздухообмена и неправильном выборе воздухоораздачи. Например, неправильной является подача воздуха в зону выделения основных вредностей с последующим движением его в рабочую зону. Если при монтаже вентилятора зазор между всасывающим патрубком и колесом не отрегулирован, вентилятор работает не в требуемой (по каталогу) характеристике и создает повышенный аэродинамический и механический шум. По этим причинам на некоторых предприятиях осуществляется переделка и наладка половины всей работающей вентиляции. При наладке вентиляции путем замеров определяется производительность вентилятора и осуществляется отбор проб воздуха аспираторами для анализов, проводится реконструкция кондиционеров. Пусконаладочные работы считаются законченными при условии нормальной работы оборудования с проектной нагрузкой в течение времени, предусмотренного договором. Техническая документация по наладке оформляется в виде технического отчета по специальностям (технология, энергетика, КИП и т. д.) о выполнении пусковых и отдельно наладочных работ.

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении ремонта и монтажа большая доля приходится на слесарные операции. Поэтому основные правила безопасности относятся к обеспечению безопасного выполнения слесарных работ. Кроме того, при ремонте и монтаже выполняются такелажные и сварочные работы, подключение и отключение электродвигателей. Поэтому необходимо знать основные правила безопасного выполнения такелажных и сварочных работ, электроработ.

Монтажники обычно совмещают несколько профессий. Наиболее часто второй является профессия слесаря или стропальщика. Знание правил техники безопасности необходимо по всем смежным профессиям.

Общим является следующий порядок выполнения работ по ремонту оборудования.

Ремонтные работы в действующих цехах проводятся по нарядам-допускам согласно перечня. Наряд-допуск выдается начальником цеха. Допуск к работе выдается по наряду-допуску руководителем работ, которым является механик цеха. Руководитель работ назначает ответственного производителя работ (бригадир, слесарь) на 3 дня.

При работе в слесарной мастерской и в РМЦ наряд-допуск не требуется.

Транспортировка и подъем узлов осуществляются только исправными грузоподъемными механизмами. К ручной транспортировке грузов допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста и прошедшие медосмотр. Один человек может поднимать узлы весом не более 500 Н. Подъем более тяжелых узлов одним человеком **запрещается**. При работе грузоподъемных устройств **запрещается**: находиться под поднимаемым грузом или на пути его движения; отрывать краном аппарат от бетонной подливки; допускать раскачивание груза; оставлять груз в подвешенном состоянии на длительное время. При работе электролебедки **запрещается** исправлять неправильное наматывание троса на барабан, осуществлять резкое переключение с прямого хода на обратный, допускать полное разматывание троса (на барабане лебедки должно оставаться не менее полутора витков троса).

При работе на высоте используются подмости, леса и люльки, оборудованные перилами. Кроме того, на высоте более 2 м должны

применяться предохранительные пояса. Для переноски инструмента используются ящики, если работа ведется на подмостях, и сумки, надетые через плечо, если работа проводится без подмостей.

Перед ремонтом любой машины необходимо отключить электропитание, снять приводные ремни и на рубильнике повесить плакат «Не включать — работают люди». При разборке машин, расположенных на высоких опорах, необходимо применять устойчивые леса и подмости. Снятые узлы и детали укладываются на специально отведенных местах так, чтобы оставались свободные участки для безопасного продолжения работ. **Запрещается** наращивать гаечные ключи трубами для увеличения крутящего момента и использовать ключи большего размера с установкой прокладок между гайкой и ключом. **Запрещается** также отворачивать и заворачивать гайки зубилом и молотком.

При выпрессовке деталей прессом **запрещается** поддерживать рукой оправки и другие направляющие приспособления. Разборка узла на стендах и верстаках выполняется после надежного его закрепления. Пользоваться неисправными зажимными устройствами **запрещается**.

При мойке деталей необходимо работать в резиновом фартуке и перчатках. При работе с кислотами необходимо пользоваться резиновым фартуком, перчатками и специальными защитными очками. При травлении и обезжиривании для погружения детали в ванну должны применяться щипцы. Количество кислот, хранимых на рабочем месте, не должно превышать потребности одной рабочей смены. Хранятся кислоты в стеклянных и фарфоровых сосудах с широким дном и притертой пробкой. При попадании кислоты или щелочи на кожу пораженное место необходимо промывать водой в течение 15—20 мин.

Слесарные верстаки, установленные вблизи проходов или обращенные к другим рабочим местам, должны иметь на задней стороне сетку высотой 600 мм. Перед работой необходимо проверять исправность ручного инструмента и надежность крепления его на рукоятках. Рабочая поверхность молотков и кувалд не должна иметь заусенцев и трещин. Ручки молотков и кувалд должны быть заклинены стальными клиньями.

При рубке нужно надевать предохранительные очки с небьющимися стеклами.

Напильники должны быть с ручками. Опилки и стружку необходимо удалять с помощью щеток или ветоши.

Заточные станки должны иметь предохранительный кожух и специальный прозрачный экран для защиты глаз от абразивной пыли. Зазор между абразивным кругом и подручником должен быть минимальным. Регулировать зазоры можно только во время остановки станка.

Работа на сверлильных станках ведется с соблюдением следующих правил: 1) необходимо надежно закрепить детали на столе

станка в тисках или в приспособлении; 2) нельзя удалять стружку рукой; 3) нельзя подавать охлаждающую жидкость смоченными обтирочными концами. Рукава одежды рабочего должны быть завязаны, волосы убраны под головной убор.

К работе электрическим и пневматическим инструментом допускаются только те лица, которые изучили их устройство и правила пользования. Работа с электрифицированным инструментом разрешается только с обязательным использованием диэлектрических перчаток, галош или коврика и заземления корпуса электроинструмента. Изоляция электрифицированного инструмента должна проверяться периодически, а также при начале работы с инструментом. При работе со сжатым воздухом и на наждачном круге надеваются защитные очки.

Электроинструмент в помещении без повышенной опасности может применяться на напряжении 127 и 220 В. В помещениях с повышенной опасностью напряжение не должно превышать 36 В. Провода должны покрываться защитой из резиновой трубки. Резиновая трубка в месте ввода провода в инструмент должна быть заключена в металлическую спираль. До полной остановки электроинструмента нельзя вынимать режущий инструмент.

Пневмоинструмент более безопасен, чем электроинструмент. Он может применяться в сырых помещениях и под дождем. Работа с пневмолотком и пневмозубилом должна проводиться в защитных очках с установкой экранов для ограждения зоны отлета кусков. При включении пневмомолотка во избежание выброса зубила необходимо сначала прижать зубило к металлу и после этого включить молоток.

Работа электро- и пневмоинструментом с приставных лестниц **запрещается**. Она может проводиться только на прочных подмостях и лесах, имеющих перила.

**Запрещается** заправлять керосиновую паяльную лампу бензином, так как это может привести к взрыву. Лампу необходимо заливать керосином не более чем на  $\frac{3}{4}$  ее объема и разжигать в специальном месте, удаленном от общих рабочих мест.

К сварочным работам допускаются лица, сдавшие экзамен и получившие право на выполнение этих работ. Провода сварочных агрегатов должны иметь хорошую изоляцию, а сами агрегаты — заземление. Места, где ведутся электросварочные работы, должны быть ограждены переносными щитами. Рабочее место сварщика оборудуется местной вентиляцией. **Не допускается** применение предохранительного щитка с разбитыми или нестандартными фильтрами для глаз.

Кроме изложенных требований по обеспечению безопасных условий труда рабочих-ремонтников необходимо учитывать требования безопасности ремонтных работ, связанные с условиями взрывопожароопасности химических цехов и помещений.

На химическом предприятии к аппаратуре, трубопроводам и арматуре, нуждающимся в ремонте, предъявляются следующие

требования: аппараты и трубопроводы должны быть без давления, отключены от действующей системы заглушками, освобождены от продукта и продуты азотом или воздухом.

Если аппаратура и трубопроводы заполнены продуктом, ремонт их осуществляется в исключительных случаях при соблюдении особых правил безопасности, не предусмотренных действующими инструкциями, при наличии письменного разрешения начальника цеха и в присутствии представителя газоспасательной станции. При сохранении в аппаратах и трубопроводах давления ремонт их **запрещается**.

На аппаратах и трубопроводах, содержащих жидкий продукт или его пары, необходимо вывесить плакаты, предупреждающие и запрещающие производство работ, связанных с разгерметизацией.

Перед постановкой оборудования в ремонт проводится ряд подготовительных мероприятий: 1) отключение электроэнергии, т. е. снятие напряжения на щите, причем пусковое устройство пломбируется и вывешивается плакат «Не включать — аппарат на ремонте»; 2) отключение и отглушение оборудования и коммуникаций; 3) освобождение оборудования и коммуникаций от продукта, очистка от грязи, вредных, ядовитых, горючих жидкостей и газов; 4) промывка, пропарка, проветривание и охлаждение; 5) очистка каналов, лотков, приемков, промывка канализационных колодцев; 6) выполнение соответствующих анализов.

При ремонте **запрещается** загромождать рабочие площадки, установки и территорию вокруг них. После окончания работ осуществляется уборка строительных отходов, материалов и оборудования. Вскрытые котлованы, ямы, траншеи в местах перехода должны быть оборудованы пешеходными мостиками с ограждениями. При изменении условий на территории ремонтируемого объекта (парение, утечка газов, жидких продуктов и т. д.) ремонтные работы прекращаются, рабочие удаляются в безопасное место и принимаются меры к ликвидации опасности. Возобновление ремонтных работ разрешается после выяснения и устранения причин опасности.

При производстве ремонтных работ предусматриваются меры, исключаящие повреждение действующего оборудования и трубопроводов.

В процессе выполнения ремонтных работ **не допускается**: 1) проведение пневматических испытаний аппаратов и трубопроводов без удаления работающих из опасной зоны и разработки специальных мероприятий; 2) одновременное проведение огневых работ и работ, которые могут вызвать выброс взрывоопасных или горючих продуктов.

Оборудование и коммуникации после проведения ремонта испытываются в соответствии с правилами, нормами, техническими условиями и регламентом. Иногда при испытаниях возникает необходимость подключения отремонтированного оборудования

к действующим коммуникациям и сетям. Такие операции (совмещенные) должны выполняться при соблюдении следующих правил: 1) порядок проведения совмещенной операции определяется руководством цеха; 2) при испытании оборудования режим и параметры определяются механиком цеха.

После окончания ремонта перед пуском установки, машины или аппарата оформляется вся исполнительная документация, предусмотренная правилами, нормами и техническими условиями.

В случае обнаружения дефектов, выявленных в период испытания, они должны быть устранены с соответствующей подготовкой, обеспечивающей безопасное производство работ.

Перед испытанием оборудования особое внимание уделяется токоподводящим устройствам. На ремонтируемом участке перед проведением испытаний машин и аппаратов убираются грузоподъемные устройства, вспомогательные приспособления, материалы и инструмент. Проверяется отсутствие посторонних предметов на движущихся и вращающихся частях оборудования или во внутренних полостях, крепление фундаментных болтов, состояние заземления, изоляции, действие пусковых устройств, состояние тормозных и предохранительных устройств, средств автоматики. Открытые движущиеся и вращающиеся части должны быть ограждены.

Система смазки машин перед пуском заполняется маслом установленной марки. При необходимости включается система охлаждения.

После опробования машины на холостом ходу необходимо провести тщательную проверку всех креплений, работу деталей и сборочных единиц. После такой проверки нагрузка увеличивается до установленной технической характеристикой.

При испытании механического оборудования проверяется работа кинематических звеньев машины (зубчатых колес, цепей, ремней, шатунов, кривошипов и т. п.). При этом необходимо контролировать температуру. Для исключения перегрева обеспечивается режим обильной смазки, постоянный уход и наблюдение.

При пуске и обкатке оборудования **запрещается** устранять дефекты на ходу машины. Во избежание попадания масла на бетонные фундаменты они покрываются специальным защитным слоем и окрашиваются.

После проведения испытаний или в перерывах машина отключается от источников питания и вывешиваются предупредительные надписи «В ход не пускать», «Машина неисправна».

Результаты пробного пуска и испытаний заносятся в паспорт и оформляются актом.

Перед проведением гидравлического испытания персонал, участвующий в нем, проходит инструктаж. Заглушки, люки, арматура отмечаются предупредительными знаками. Нахождение персонала рядом **не допускается**. Сначала осматривается и испытывается на пробное давление инвентарное испытательное оборудо-

дование, приборы и арматура. При этом пробное давление испытательного оборудования является рабочим давлением для инвентарного оборудования.

Испытуемые аппараты заполняются водой из водопровода или специальной жидкостью с помощью насоса. При заполнении системы жидкостью в верхней части аппарата устанавливается дренажный штуцер, исключающий возможность образования воздушного «мешка». Заполнение системы контролируется переливом жидкости через дренажные штуцеры. Давление должно повышаться гидравлическим прессом постепенно и равномерно, без толчков и ударов.

За системой, находящейся под давлением, необходимо осуществлять постоянное наблюдение. При проведении испытания **запрещается** повышать давление в испытуемом оборудовании выше установленных норм, устранять любые дефекты, подтягивать гайки, болты, шпильки, а также подчеканивать швы и простукивать завальцовки. Сварные швы стальных аппаратов и трубопроводов простукиваются молотком весом 5—15 Н в зависимости от толщины стенки. Трубопроводы из цветных металлов простукиваются деревянным молотком весом не более 8 Н. Наиболее опасны пневматические испытания, так как в случае нарушения целостности стенки аппарата возможно образование воздушной ударной волны. Следует иметь в виду, что пневматические испытания на прочность **нельзя** проводить в действующих цехах, на эстакадах и в каналах, где уложены трубопроводы, находящиеся в работе.

Пневматические испытания наиболее удобно проводить, используя центральную воздушную систему. Иногда приходится их выполнять с помощью передвижных компрессоров. Компрессор должен иметь ресивер и располагаться от испытуемого оборудования на расстоянии не менее 10 м. Повышение и снижение давления проводится плавно и медленно. После соответствующей выдержки давление понижается до рабочего значения, а испытуемое оборудование подвергается тщательному осмотру. Осмотр и освидетельствование в процессе повышения или понижения давления **не допускается**. Ликвидация дефектов оборудования осуществляется после снятия давления. Количество людей, занятых на испытании, должно быть минимальным.

Наиболее опасны в технологическом цикле пуск и остановка установок и целых производств. Технологическим регламентом и инструкцией по пуску излагаются все операции, переходы и их последовательность.

В период пуска теплообменной и реакционной аппаратуры сначала включается подача хладагентов, а затем реагентов.

При пусконаладочных работах важное значение имеет проверка герметичности оборудования и трубопровода. Герметичность неподвижных разъемных соединений достигается с помощью прокладок. При этом используются прокладочные материалы,

обладающие необходимой упругостью, достаточной коррозионной стойкостью и температурной устойчивостью (картон, паронит, фибра, резина, листовая и шнуровая асбест, винипласт, фторопласт, полиэтилен, капрон, нейлон, медь, свинец, алюминий, сталь и т. д.).

Наиболее распространенной конструкцией уплотнения неподвижных соединений является уплотнение двух плоских поверхностей «шип-паз», а при высоких давлениях и температурах — линзовое уплотнение «конус-сфера».

Уплотнение движущихся деталей (вращающихся валов, мешалок, реакторов, насосов, центрифуг и т. д.) и деталей, совершающих возвратно-поступательное или комбинированное движение, более сложны по конструктивному оформлению, а также в изготовлении и эксплуатации. Они менее надежны в работе, поэтому требуют постоянного наблюдения и контроля.

Неплотности в сальниковых уплотнениях приводят к появлению в производственном помещении газов или паров химических продуктов, которые могут вызвать взрывы, пожары и отравления обслуживающего персонала.

Даже при правильной эксплуатации сальников и нормальной работе машин и аппаратов пропуск жидкостей и газов между валом и сальниковой набивкой постепенно увеличивается. При необходимости во многие сальниковые устройства осуществляется подача жидкости или газа с целью создания противодавления и исключения попадания химических веществ в производственное помещение.

В случае сальниковых устройств, установленных в аппаратах с кристаллизующимися растворами взрывоопасных окислителей, необходим особенно тщательный контроль за подводом промывной жидкости, так как отложение кристаллов в набивке может быть причиной взрыва.

При работе с пластмассами применяются токсичные вещества — отвердители (полиэтиленполиамин, малеиновый ангидрид) и растворители (ацетон, бензин, четыреххлористый углерод и др.). Токсичные вещества содержатся до отверждения в феноло-формальдегидной массе, эпоксидной смоле. Выделение токсичных продуктов имеет место при нагреве и механической обработке пластмасс. Поэтому работа с пластмассами должна выполняться с соблюдением следующих правил.

Работы должны проводиться в изолированных помещениях или в общих помещениях, но на специально выделенных и оборудованных рабочих местах.

Для работы следует брать минимально необходимое количество материалов. Работы должны выполняться при функционирующей вытяжной вентиляции. Рабочие должны быть в спецодежде, очках и респираторе.

**Запрещается** брать незащищенными руками стеклоткань, стекловолокно, асбестоволокно.

Особенностью монтажных работ является проведение их на высоте; осуществляются также работы, связанные с подъемом тяжеловесного оборудования на безопасность монтажных работ оказывают влияние атмосферные условия.

К работам на высоте относятся те, при выполнении которых рабочий находится на расстоянии более 1 м от поверхности грунта, перекрытия, настила. Верхолазными считаются все работы, которые выполняются с конструкций или временных монтажных приспособлений, находящихся на высоте более 5 м от поверхности грунта, перекрытия или настила. Работы, относящиеся к категориям сложных и особо опасных, проводятся по письменному наряду-допуску, в котором указываются конкретные меры по созданию безопасных условий труда. Сюда относятся: 1) работы на высоте более 1 метра; 2) работы в двух и более ярусах; 3) работы на эстакадах; 4) работы в действующих цехах, колодцах, закрытых емкостях; 5) подъем груза, близкого по весу к грузоподъемности крана.

Половина травм происходит при строповке, перемещении, установке и укладке грузов. В основном травмируются ноги при падении переносимых грузов. При этом основная группа травм связана с временными устройствами, которые изготавливаются из подручных материалов по индивидуальным проектам. При монтаже оборудования должны выполняться следующие правила техники безопасности.

К монтажным работам допускаются лица не моложе 18 лет на основании данных медицинского осмотра, прошедшие вводный инструктаж, инструктаж на рабочем месте и знающие правила техники безопасности, что должно быть записано в специальных журналах.

Монтажный персонал должен являться на рабочее место в исправной спецодежде и с защитными средствами (каска, защитные очки, предохранительный пояс). Все колодцы, лотки, траншеи и другие коммуникации, находящиеся на пути грузоподъемных и транспортных машин, должны быть обозначены хорошо видимыми указателями. **Запрещается** выходить на монтажную площадку без защитной каски и находиться под грузом, перемещаемым краном.

Работы на высоте более 1,5 м без подмостей проводятся с предохранительными поясами. Для переноски и хранения инструментов, крепежа и мелких деталей монтажники должны быть снабжены ящиками или сумками. Подача деталей на высоту и их спуск производится прочной веревкой с оттяжкой.

Рабочие места, расположенные на высоте более 3 м, должны иметь специальные подмости, оборудованные прочными перилами. При работе вне таких площадок рабочие должны иметь проверенные предохранительные пояса. Если отсутствуют места закрепления предохранительного пояса, создаются специальные устройства: скобы, привариваемые к конструкциям, стальные канаты, натягиваемые в месте производства работ. При работе

сварщика в неудобном положении (например, лежа) должны применяться резиновые и войлочные коврики. Монтажные леса, подмости, стремянки, переносные лестницы для работ на высоте более 1,5 м должны изготавливаться по проектам из качественных лесоматериалов с последующим испытанием их до ввода в работу и проверкой до начала каждой смены.

Настилы и подмости высотой более 1 м должны иметь ограждающие перила и бортовую доску высотой не менее 15 см, предотвращающую падение с подмостей деталей и инструмента. Ширина подмостей должна быть не менее 0,8 м.

Монтажные проемы в перекрытиях, монтажных лесах и подмостях следует закрывать сплошными настилами или ограждать перилами высотой не менее 1 м и бортовой доской.

Проход по фермам и прочим элементам конструкций, не приспособленным для этих целей, **запрещается**. Проход по подкрановым балкам и нижним поясам стропильных ферм допускается, если вдоль балки или фермы на высоте 1 м натянут трос для закрепления цепи предохранительного пояса.

Одновременное выполнение работ в двух и более ярусах на одной вертикали без соответствующих защитных средств **не разрешается**. При необходимости для защиты работающих на нижних отметках должны быть устроены козырьки, настилы с бортовой доской, натянуты защитные сетки и т. п.

При силе ветра более 6 баллов работа кранов прекращается, а рельсовые краны закрепляются противоугонными средствами. На электролебедках могут работать только лица, знающие их устройство и правила эксплуатации, что должно быть подтверждено удостоверением, выданным квалификационной комиссией.

**Запрещается** крепить тали, лебедки, блоки за трубопроводы. Крепление их за строительные конструкции (колонны, балки, фермы) разрешается только с согласия главного инженера монтажного участка или строительной организации. Использование металлоконструкций здания для крепления полиспастов разрешается только при наличии расчета прочности этих конструкций и разрешения заказчика или генподрядчика. Грузоподъемные операции могут проводиться только специально обученным персоналом. Из зоны подъема и спуска груза люди должны быть удалены на безопасное расстояние до начала операции.

**Не допускается** поднимать грузы, засыпанные землей или примерзшие к земле.

При строповке грузов **запрещается** поднимать груз без предварительной проверки исправности такелажа, надежности строповки груза, пробного подъема груза на высоту 0,2—0,3 м для проверки равномерности натяжения стропов и положения центра тяжести. **Запрещается** подтаскивать грузы краном при косом натяжении канатов или поворотом стрелы.

Усилие, действующее на рым-болт, должно быть направлено по оси рыма. Для этой цели при подъеме аппарата за несколько

рымов между стропами должна быть установлена распорка или применена траверса. При обвязке груза **нельзя** допускать угол между ветвями стропы более 90°.

На углах и ребрах оборудования во избежание повреждения стропы необходимо ставить деревянные подкладки. **Запрещается** смазывать, чистить и ремонтировать такелажные механизмы и оснастку, когда они находятся под нагрузкой.

При сматывании каната с барабана лебедки на последнем должно оставаться не менее полутора витка каната.

Устанавливаемые элементы конструкций до их освобождения от крюка монтажного крана должны быть надежно закреплены болтами, прихватками с установкой постоянных или временных связей, распорок, расчалок и т. п.

При установке деталей следует направлять их не руками, а соответствующим инструментом. Совпадение отверстий во фланцах и других деталях должно проверяться конусными оправками, а не пальцами.

При работе в ночное время рабочие места должны быть хорошо освещены лампами рассеивающегося света и прожекторами. Переносные лампы должны иметь напряжение 12 В.

**Запрещается** производить монтажные работы на высоте при силе ветра более 3 баллов, грозе, снегопаде, тумане и температуре воздуха ниже минус 30 °С. Работы в этом случае могут выполняться в соответствии со специальной инструкцией.

Сварочные работы на высоте необходимо проводить только с подвесных подмостей, огражденных перилами.

При гидроиспытании оборудования и арматуры **запрещается** находиться против фланцевых соединений.

## Литература

- Андреев Г. А., Евтихин В. Ф., Шнейдер Г. Б. Индустриальные методы ремонта вертикальных стальных резервуаров. М., изд. ЦНИИТЭНефтехима, 1979. 39 с.
- Берлин М. А. Ремонт и эксплуатация насосов нефтеперерабатывающих заводов. М., Химия, 1970. 280 с.
- Воробьев Н. И. Техника безопасности при монтаже, ремонте, пуске и наладке оборудования химических производств. М., Химия, 1973. 181 с.
- Гайдамак К. М., Тыркин Б. А. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности. М., Высшая школа, 1974. 286 с.
- Грохольский Н. Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой. М., Машиностроение, 1966. 275 с.
- Гуревич М. Б., Каганович В. И., Лютов Б. М. Экономика, организация и планирование механомонтажных работ. М., Стройиздат, 1974. 367 с.
- Дуров В. С., Твердохлебов И. И., Фолиянц А. Е. и др. Состояние и перспективы развития ремонтной службы и нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М., изд. ЦНИИТЭНефтехима, 1973. 85 с.
- Ефремов С. А., Фридман С. Д. Организация ремонта оборудования в химической промышленности. Киев, Техніка, 1977. 152 с.
- Зубова А. Ф. Надежность машин и аппаратов химической промышленности. Л., Машиностроение, 1978. 214 с.
- Ипатов П. П., Финкель А. Ф. Монтажные подъемно-транспортные механизмы и такелажные работы. М., Стройиздат, 1975. 343 с.
- Колесник Н. В. Статическая и динамическая балансировка. Л., Машгиз, 1954. 244 с.
- Колесниченко В. Г. Расчет металлических конструкций и приспособлений при производстве монтажных работ, Киев, Будивельник, 1978. 160 с.
- Комаров Г. В. Способы соединения деталей из пластических масс. М., Химия, 1979. 286 с.
- Костин В. М., Коннов И. Н. Стыковка и ремонт резино-тканевых транспортерных лент. М., Химия, 1968. 64 с.
- Мальцев А. Г., Рабской В. И. Механизация трудоемких работ при ремонте и монтаже оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. М., изд. ЦНИИТЭНефтехима, 1975. 68 с.
- Матвеев В. В. Примеры расчета такелажной оснастки. Л., Стройиздат, 1979. 240 с.
- Мыслицкий Е. Н., Киселев Г. Ф., Рахмилевич З. З. Техническое обслуживание и ремонт поршневых компрессорных машин. М., Химия, 1978. 155 с.
- Попов В. П. Ремонтпригодность и долговечность машин. Основы теории и расчета. М., Машиностроение, 1973. 45 с.
- Пранулис М. Ф., Фридман Е. Е., Савченко К. К. Техника безопасности при очистке и ремонте аппаратуры нефтеперерабатывающих установок. М., Химия, 1971. 72 с.
- Протасов В. Н., Добрянина Л. М. Применение полимерных материалов при сооружении и ремонте технологических трубопроводов. М., изд. ЦНИИТЭНефтехима, 1979. 64 с.

Ряполов А. Ф. Монтаж аппаратуры высокого давления. М., Стройиздат, 1970. 176 с.

Сетевые методы и ЭВМ при управлении ремонтом технологического оборудования. Иркутск, Вост.-Сиб. кн. изд., 1972. 112 с.

Система технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий химической промышленности. М., НИИТЭХИМ, 1976. 348 с.

Современные методы установки и закрепления оборудования на фундаменте. М., ЦБНТИ, 1978. 35 с.

Храпач Г. К. Монтаж и ремонт компрессоров. М., Недра, 1964. 480 с.

Хоц Б. С., Голубев В. И., Косоурова Т. Г. и др. Оптимальное планирование планово-предупредительных ремонтов (ППР) технологических установок нефтеперерабатывающих заводов. М., изд. ЦНИИТЭНефтехима, 1971. 44 с.

Черняк Я. С., Дуров В. С. Ремонтные работы на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях. М., Химия, 1975. 261 с.

Шкловский Э. И., Востриков В. С. Ремонтная служба на химических предприятиях. М., Химия, 1978. 167 с.

Эскин Л. М., Петлярский Ф. С. Практика ремонта химического оборудования с использованием методов СПУ. Минск, 1972. 79 с.

## Предметный указатель

- Абразивные порошки 102, 190  
Абразивный износ 40, 64, 74, 223  
Автогенная сварка 93  
Автоматизированная подсистема управления обслуживанием и ремонтом оборудования (АПУОРО) 26 сл.  
использование ЭВМ 26, 27  
математическое обеспечение 27  
Автоматическая сварка в среде углекислого газа 77, 81  
под слоем флюса 80  
Агрегат 10 сл. см. также Комплекс  
Агрегирование 68  
Азотирование 34  
Андезит 199  
Анемометры 145  
Анодная защита 49, 50  
Анодное декапирование детали 95, 96  
Аноды  
для железнения 96, 97  
для хромирования 95  
Антикоррозионная металлизация 49  
Арматура 8, 11, 173, 202, 248 сл.  
испытания на прочность и плотность 262  
опрессовка 146  
притирка уплотнительных поверхностей 146  
проверка герметичности 262  
сосудов, работающих под давлением, ремонт 254 сл.  
трубопроводная 254 сл.  
гидравлическое испытание 255  
промывка 109  
универсальные стенды для ремонта 146  
Армирование 179, 191  
Аспираторы 341  
Ацетилено-кислородная сварка 77, 80, 84, 85  
Баббит 37, 43, 86, 161 сл., 228, 246, 247  
Балансировка 119 сл.  
динамическая 121, 125 сл.  
приспособления 121 сл.  
роторов  
гибких 129  
жестких 127 сл.  
статическая 121 сл., 172  
контактные напряжения 122, 123  
контроль качества 125  
Бандажи 314, 319, 320, 322  
Безотказность объекта, определение 52  
Бетонная подливка 301 сл.  
Бетономешалка 221  
Блоки 213 сл.  
Бутакрил 176, 177  
Бюро планово-предупредительного ремонта 6  
Вакуум-аппараты, испытание на прочность и плотность 143  
Вакуум-насос 141, 142, 180  
Вал(ы) 52, 73, 74, 80, 101 сл.  
восстановление участков  
резьбовых 103  
шлицевых 168, 169  
гуммирование 195  
коленчатый 222, 224, 225  
нагрев при правке 161  
обработка на ремонтные размеры 101  
посадка легкой и тяжелой детали 169, 170  
правка 97, 98, 159  
пресс 98  
проверка  
параллельности 133, 134  
перпендикулярности 133  
равномерности прилегания 135  
соосности 135  
ремонт 77, 78, 159 сл.  
сборка 117  
способы сварки 77, 78  
статическая балансировка 121  
установка резьбовой втулки 103  
Валковая машина 64  
Вальцовка 202 сл.  
Вейбулла распределение 59  
Вентили 52 сл.  
Вентиляторы 8, 72, 311, 339, 341  
Вентиляция 341, 348  
Вероятность  
безотказной работы 56 сл.  
расчет 65  
отказов 56, 57, 61, 62, 65, 338  
плотность распределения 57, 58  
Вибраторы 221, 307  
Виброкопящий слой 175, 176  
Виброметр 127, 128  
Винипласт 348  
Винтовой домкрат 204, 205, 278, 282

- Винтовые скобы 97  
 Винты 167 сл.  
 Внеанное железнение 97  
 Внутризаводская централизация ре-  
 монта 7 сл.  
 Восстановление  
   вала и втулки нанесением пласт-  
   масс 174  
   валика запрессовкой цапфы  
   170, 171  
   втулок 100, 103  
   шестеренчатого насоса 247  
   деталей нанесением полиамидов  
   174  
   зубчатых колес с помощью наде-  
   лок 165  
   колес центробежного насоса 242  
   корпуса шестеренчатого насоса  
   245 сл.  
   крышек вакуум-насоса 181  
   кулачков муфт 166  
   посадочных шеек валов под под-  
   шипники 181  
   резьбовых участков валов 103  
   резьбы на валу центробежного  
   насоса 242  
   шеек вала центробежного насоса  
   242  
   шестерен насоса на ремонтные  
   размеры 247  
   шлицевых участков вала 168, 169  
   шпоночных пазов на валах и в  
   ступицах 167  
 Вращающаяся печь, узлы 10  
 Вращающиеся диски 121  
 Вторичный ресурс 53  
 Втулка(и) 68, 72, 73, 99 сл. 191, 230,  
 244  
   восстановление 100, 103, 247  
   выпрессовка из глубоких отвер-  
   стий 110, 111  
   гидропресс для запрессовки-вы-  
   прессовки 146  
   запрессовка 111, 112, 242  
   затяжная 117  
   извлечение из глухих отверстий  
   110, 111  
   износ 74  
   наплавка 87, 88  
   переходная 166  
   резьбовая 114  
   установка на вал 103  
   сальника, разъемная нажимная 71  
   скольжения 244  
   упорная 114  
 Вулканизация 153, 191 сл.  
 Газовый резак 329  
 Газопламенное порошковое нанесение  
 слоя 93  
 Газорезательные машины 292  
 Гайковерт(ы)  
   гидравлический 113, 203  
   пневматические 146, 203  
   электрические 146  
 Галогенные теченскатели 142  
 Гамма-дефектоскоп 141, 142  
 Гамма-лучевое просвечивание 140,  
 148  
 Гамма-процентный ресурс, определе-  
 ние 53  
 Гидравлические испытания 142 сл.,  
 340 сл.  
 Гидравлический домкрат 109, 110, 151,  
 193, 278, 279, 282  
 Гидронасос 109  
 Гидроподъемник 288 сл., 320, 321  
 Гидропресс 146  
 Гидросистемы 64  
 Гидростатический уровень 133, 326  
 Гидротенсер 114  
 Гидроцилиндр 282, 290, 293, 294  
 Гильзовка 100, 102  
 Гильотинные ножницы 292  
 Горелки 79, 93 сл.  
 Горн 78, 84, 333  
 Горячая сварка чугуна 83, 84  
 Граничное трение 43, 44  
 Градири 341  
 График планово-предупредительного  
 ремонта (ППР) 13, 18, 29 сл.  
   математическая модель 31  
   оптимальный 29 сл.  
   последовательность расчета 30, 31  
 Графит 153, 229, 243  
 Грузоподъемные механизмы 114, 156,  
 167, 203, 268, 276, 294, 342  
 Грузоподъемные операции, механизма-  
 ция 10  
 Гузоны 238  
 Гуммирование 159, 195  
 Гусек 281  
 Датчики 127, 130  
 Двусторонняя заварка дефекта 150  
 Декапирование стальных деталей 95  
 Демонтаж 25, 70 сл.  
   деталей 77, 109  
   с применением удлинителей 106  
   корпуса цельносварных колонн  
   215  
   мачт 298  
   резервуара для хранения нефти  
   218  
   резьбовых соединений 203  
   секций тарелок колонных аппара-  
   тов 213  
   теплообменников 203, 204  
   червячных колес 72

- Деталь(и)** 10, 12, 15 сл., 105 сл.  
 анодное декапирование 95, 96  
 антикоррозионная стойкость 35  
 балансировка 119 сл.  
 вдавливание 97  
 восстановление 76 сл.  
 методом пластических деформаций 97 сл.  
 показатель эффективности 76  
 электролитическое 93 сл.  
 выпрессовка 109, 110  
 вытяжка 97  
 выявление трещин методом цветной  
 дефектоскопии 138  
 демонтаж 77, 109  
 дефектация 137 сл.  
 дополнительная ремонтная 102 сл.,  
 158  
 железнение 93, 94, 96, 97  
 запрессовка 111  
 износостойкость 93  
 контроль геометрического поло-  
 жения 132 сл.  
 конусообразность 138  
 корпусные 180, 187, 300  
 ремонт 148  
 крепежные 13, 14, 248, 269  
 меднение 93  
 металлизация 92 сл.  
 накатка 97, 101  
 наплавка 35 сл.  
 некорпусные, ремонт 159 сл.  
 никелирование 93  
 обжатие 97, 99  
 обработка на ремонтные размеры  
 101 сл.  
 овальность 138  
 определение 105  
 осадка 97, 99  
 пластмассовые 36  
 правка 77, 97, 98  
 притирка поверхностей 101, 102  
 проверка  
 на биение 136, 137  
 плоскостности 134  
 равномерности прилегания 135  
 промывка 108, 109  
 раздача 97, 99  
 сварка 77 сл.  
 склеивание 186 сл.  
 торцовое биение 131  
 удаление краски 197  
 усталость прочность 35  
 установка ввертыша 103, 104  
 хромирование 93 сл.  
 цинкование 93  
 Дефектация 12, 105, 132, 137 сл.  
 Дефектная ведомость 12, 18, 20, 25,  
 137, 144, 217
- Дефектоскоп(ы)** 139 сл.  
 люминесцентный 139  
 магнитные 140, 141  
 ультразвуковые 140, 149  
**Дефектоскопия** 12, 132, 137 сл.  
 гамма-лучевая 141, 142  
 люминесцентная 138, 139  
 магнитная 137, 139  
 магнитнопорошковая 141  
 ультразвуковая 137, 139, 155  
 цветная 138, 140, 152, 210, 227,  
 233  
**Децентрализованная ремонтная служ-  
 ба** 7, 8  
**Диаграмма(ы)**  
 для определения места и величины  
 разбаланса 124, 125  
 индикаторные 341  
**Дибутилфталат** 243, 246  
**Динамическая неуравновешенность** 120  
**Динамометры** 147  
 накладные 317  
**Динас** 199  
**Дисбаланс** 120, 124 сл.  
**Диск(и)**  
 абразивный износ 74  
 конический 166, 167  
**Дисковая маятниковая пила** 181  
**Доводочные эмульсии** 102  
**Долговечность объекта, определение** 53  
**Дренажный штуцер** 347  
**Дуговая сварка** 77, 78, 83
- Емкостные аппараты** 216 сл.
- Железнение**  
 вневанное 97  
 электролитическое 242  
**Жидкие смазки** 44, 45  
**Жидкий азот** 109, 110  
**Жидкое стекло** 87, 88, 108, 153, 157,  
 198, 199, 205  
**Жидкостное трение** 43, 44, 93
- Задвижки** 21, 75, 255  
**Заделка**  
 пробонн эпоксидной пастой 180,  
 187, 188  
 трещин 188  
**Закалка** 34, 49, 100  
**Заливка**  
 межвитковой и пазовой изоляции  
 электродвигателей 181  
 трещин 186
- Захват(ы)** 109 сл., 330  
 вакуумные 147  
 накладные 110  
 полуавтоматический 274, 275  
 с вакуумными присосками 296  
 сменный 109, 110

- Звездочка  
разъемная 70, 71  
составная 71
- Зубчатые передачи, сборка 117, 118
- Износостойкость  
детали 93  
пары трения 34
- Изотопы 141, 142
- Ингибиторы коррозии 49, 109, 205
- Индикатор(ы) 224, 230, 235, 261, 327  
часового типа 133, 135, 245
- Индикаторные диаграммы 341
- Индикатор-стетоскоп 132
- Индукционный датчик 127, 130
- Индукционный нагрев 48, 78, 334
- Интенсивность  
изнашивания  
линейного 34  
массового 35  
отказов 55 сл. см. также Наработка на отказ  
кривая 56
- Испытание(я)  
вакуум-аппаратов 143  
воздушных сетей 341  
в режиме холостого хода 140, 145, 337  
гидравлические 142 сл., 340  
кранов 293  
колонн 216  
на плотность 141 сл.  
на прочность 142 сл.  
пневматическое 142, 144, 347  
под нагрузкой 142, 145, 337  
поршневых компрессоров 341  
предохранительного клапана 261, 262  
пружин предохранительных клапанов 146, 260, 261  
прямоточных клапанов 146  
температурные 340  
тепловые 340  
тепловых сетей 340, 341  
торцовых уплотнений 145  
футерованного аппарата 152  
центробежного насоса после ремонта 244
- Каменное литье 153
- Канаты 273 сл.  
двойной свивки 273 см. также Тросы  
испытание 293  
одинарной свивки 273  
пеньковые 273, 274  
резка 292  
стальные проволочные 273  
тройной свивки (кабели) 273, 274
- Кантователь с роликовыми опорами 296
- Карта(ы)  
дефектаций 240 см. также Дефектная ведомость  
ремонтная 15, 20, 137  
смазки 45  
технологическая монтажа аппарата 265, 266
- Капролон 201, 229, 232
- Капрон 348
- Карусельная люлька 296
- Катализаторопровод 63, 64
- Катодная защита 50
- Кильблоки 272
- Клапан(ы)  
всасывающий 230  
кольцевой 104  
пластинчатый 232  
предохранительный 114, 146, 231, 255, 260 сл.  
гидравлическое испытание 261  
прямоточный 104, 146, 231, 232  
тарельчатый 230
- Клеемешалка 188
- Клиновой разъединитель фланцев 249
- Ключ(и)  
гаечные 112, 114, 116, 343  
гидравлический 291  
динамометрические 113, 116  
для вывинчивания шпилек 168  
механические 290  
накидные 111  
торцовые 111, 114  
трещоточные 291
- Ключ-мультипликатор (КМ) 113, 290, 291
- Комплекс, определение 105
- Комплексная ремонтная бригада 8
- Компрессор 11, 64, 102, 114, 144, 221, 250, 311, 339  
замена клапанов 104  
монтаж 326, 328, 329  
передвижной 347  
поршневой 222 сл.  
дефектация деталей 224  
клапаны 222, 230, 231  
коленчатый вал 222, 224, 225  
коренные подшипники 222, 224  
крейцкопф 222, 227, 228  
обкатка 233  
подготовка к ремонту 222, 223  
поршневые кольца 228, 229  
поршни 222, 228  
ремонт 225 сл.  
станина 232, 233  
фундамент 232  
цилиндр 222, 229, 230  
шатун 222, 226

Компрессор  
центробежный 233 сл.  
величина натяга сборочных еди-  
ниц ротора 235  
диафрагмы 238  
корпус 238  
лабиринтные уплотнения 238  
подшипники 236, 237  
предельная величина биения дета-  
лей ротора 234  
ремонт 233 сл.  
ротор 233 сл.

Кондуктор 158, 271, 302, 305

Кондиционеры 341

Консистентные смазки 44 сл., 118, 140

Константа скоростей реакции 33

Контактные пятна 118 сл. см. также

Пятна касания

Контролепригодность машины 68

Контроль

геометрического положения де-  
тали 132 сл.

деформации вала 160

за состоянием металлоконструк-  
ций мачт 317

износа зубьев шестерни 165

качества

сварных швов 141

статической балансировки де-  
тали 125

отклонения аппарата от плоскости  
подъема 145

перпендикулярности осей 133

подшипников качения 164, 165, 241  
положения аппарата на фунда-  
менте 145

пооперационный 132

равномерности барботажа на та-  
релке колонны 311

толщины стенок аппаратов, ульт-  
развуковой 140

усилий в канатах 145

утечек при испытании на плот-  
ность 143

штопочных и шлицевых канавок  
шестерни 165

Контрольное давление 141 сл.

Конусообразность цилиндрических  
деталей 138

Корректирующий груз 124

Корреляционная матрица связи уста-  
новок 30

Коррозионное растрескивание 48, 50,  
138

Коррозионный износ 47 сл., 60, 148,  
242

Коррозия 47 сл., 138, 150, 217 сл.

атмосферная 49

водородная 148

дырочная 48, 49

Коррозия

ингибиторы 49

кислородная 50

межкристаллитная 48, 49

местная 48, 155

общая 48

сплошная 48

Кран(ы) 105, 218, 219, 250, 268, 274, 277

автомобильные 203, 280, 282, 309

башенные 280, 282 сл., 309

Г-образная приставка 288

грузоподъемность 280 сл., 308

гусеничные 280, 281, 308

козловые 280

коэффициент устойчивости 281

монтажные

легкие 280, 281

средние 281

тяжелые 281, 282

мостовые 107, 108, 280, 299

опорно-поворотный механизм 283

перебазирование 281, 282, 288

пневмоколесные 280

портальные 280

саморастропка 276

самоходные 267 сл.

стреловые 280 сл., 311

Кран-балка 10, 11, 105, 207

Кран-трубоукладчик 280

Кран-укосина 213, 254, 311

Крейцкопф 103, 222, 227, 228

Кривая

вероятности

безотказной работы 58

отказов 57

интенсивности отказов 56

плотности распределения вероят-  
ности отказов 57 сл.

Кружала 153

Крюк(и) 273 сл., 314

восстанавливающий момент 281

вылет 281, 283, 322

опрокидывающий момент 281

с предохранительным клапаном  
275

Лаки 196 сл., 327

Лакокрасочные покрытия 49, 150,  
185, 197

ремонт 154

Лебедка(и) 203 сл., 213, 218, 250,  
273, 276 сл.

грузоподъемность 279

закрепление 279

передвижные электрические 254,  
280

ручные рычажные 213, 279

с машинным приводом 279

стрелоподъемная 281

тракторная 203, 204

- Легкость 68  
 Леса 11, 153, 215, 218, 267, 325, 334, 342 сл.  
 Линзовый компенсатор 202  
 Ловитель  
   приварной 294, 295  
   съемный 295  
 Ложный штупер 314  
 Лубрикатор 46  
 Люминесцентная дефектоскопия 138, 139  
 Люминесцентный состав 139  
 Люфт 164
- Магнитная дефектоскопия 137, 139  
 Магнитный контроль сварного шва 148, 149, 169  
 Манжета(ы) 64, 111, 143, 173  
   кожаные, изготовление 196, 197  
   неопреновая 147  
   пластмассовые 179  
 Манipуляторы-вращатели для цилиндрических деталей 146  
 Манipуляторы с механической рукой 292  
 Масло  
   виды 45  
   присадки 45  
   температура  
     вспышки 44, 45  
     замерзания 44  
 Маслопровод 46  
 Мачта(ы) 277 сл.  
   монтаж 298 сл.  
   передвижка 298  
   подъем с помощью  
     вспомогательной мачты 297, 298  
   крана 297  
   падающей мачты 298  
   разборные 286 сл.  
   решетчатая 286  
   трубчатая 296  
   установка в вертикальное положение 297 сл.
- Машина(ы) 10 сл.  
   алмазного сверления 305  
   валковая 64  
   горизонтальные 292  
   контролеприводность 68  
   надежность 10, 63  
   пневмосверильная 305  
   резервная 10, 68  
   резьбонарезная 291  
   сверильная 291  
   стыковочная сварная 293
- Межзаводская централизация ремонтных работ 9  
 Межремонтный период 14 сл.
- Межремонтный пробег 13, 17, 63, 338  
 Межремонтный цикл (ресурс) 13, 14, 16, 17  
   оптимальная структура 28  
 Металлизатор(ы)  
   газопламенные 92, 93  
   электрические 93  
 Металлизация 77, 92, 93, 100, 159  
 Монтаж 24, 26, 280 сл.  
   аппаратов  
     безъякорным способом 317, 318  
     в здании цеха 299  
     гидроподъемником 320, 321  
     двумя мачтами с их наклоном 316  
     колонных 310 сл.  
     мачтой с оттяжкой низа трубоукладчиком 320, 321  
     одной мачтой 315, 316  
     способом выжимания 319  
     стреловыми кранами 322  
     укороченным порталом 319  
     блочный 267, 270  
     дефекты 340, 341  
     компрессоров 326, 328, 329  
     крупноблочный 267, 300, 310  
     маслостанцией систем централизованной смазки 329  
   мачт 298 сл.  
   металлоконструкций 263, 310  
   методы 267, 300 сл.  
   насадки колонных аппаратов 310  
   насосов 326 сл.  
   обслуживающих площадок 310  
   поворотом вокруг оси шарнира 270, 287, 307, 317  
   резервуаров 323 сл.  
   резьбовых соединений 203  
   ротора горизонтального реактора 106  
   секций тарелок колонных аппаратов 213  
   сетевой график, параметры оптимизации 24  
   складной мешалки 73  
   средства малой механизации 290 сл.  
   тарелок 310, 311  
   трубного пучка 203, 205  
   трубопроводов 263, 329 сл.
- Монтажная площадка 218, 282, 300, 323, 328  
   организация 266 сл.  
 Монтажные работы  
   основные 292 сл.  
   подготовительные 273 сл.  
 Монтажные сани 312  
 Монтажные тrestы 263, 264  
 Морзе конус 206  
 Моющий раствор 108

- Муфта(ы) 52, 109, 167, 253  
 втулочно-пальцевая 72, 74, 166  
 дисковые пальцевые 166  
 жесткие 165  
 конусные фрикционные 166  
 кулачковые 166  
 накладная 186  
 поперечно-свертные 165  
 продольно-свертные 165, 166  
 ремонт 165 сл.  
 соединительные 165  
 с проставкой 171  
 сцепные 165  
 упругие 165  
 центробежно-фрикционные 166  
 эластичная 72, 74, 166, 191
- Наварка мест выработки корпусных деталей 148
- Надежность  
 детали 51, 77  
 расчет 56 сл.  
 машин 10, 63  
 оборудования  
 обеспечение 51  
 оптимальная 52  
 оценки 51  
 статистический анализ 60  
 основные определения 52, 53  
 технологических линий 60 сл.  
 расчет 61, 62, 66  
 узла 62
- Надувная пробка 201
- Нажимные винты 167
- Наладка  
 воздушных сетей 341  
 оборудования 340, 341  
 технологического оборотного водоснабжения 341
- Наплавка 12, 76, 77, 81, 85 сл., 225, 242  
 автоматическая 87, 88  
 ацетилено-кислородным пламенем 90  
 вибродуговая 90 сл.  
 в среде защитного газа 91  
 втулок 87, 88  
 дефекты 90  
 колец 88  
 крупных роторов 87, 88  
 металлических деталей 86 сл.  
 механизированная 90  
 плазменная 90, 92  
 плакирующего слоя 155  
 под флюсом 86, 87, 91  
 тел вращения 86, 90  
 электродуговая 90
- Наполнители 179, 180, сл., 229, 245
- Направляющий конус 119
- Напрессовка 102, 106
- Напыление 178, 179
- Наработка 16, 29, 55  
 на отказ 60, 62, 74, 203  
 определение 52
- Насос(ы) 21, 34, 46, 61, 64 сл., 250, 339  
 монтаж  
 подготовительные работы 326  
 ревизия 326, 327  
 установка на фундамент 327  
 центрирование 328  
 плунжерные 143  
 пневмогидравлический 114  
 поршневой 113, 143  
 центробежный  
 испытания и прием из ремонта 244  
 отбраковочный размер стенки корпуса 241  
 промывка и очистка деталей 240  
 разборка 240  
 ремонт 103, 239 сл.  
 технические требования на дефектацию и ремонт 240  
 торцовые уплотнения 242 сл.  
 шестеренчатые  
 дефектация деталей 245  
 испытание 247, 248  
 разборка 244  
 ремонт 244 сл.
- Насосная станция 114
- Неработоспособность объекта, определение 52
- Неремонтируемый объект, определение 53
- Неуравновешенность от пары сил 126
- Нивелир 133, 145, 326
- Нормальный закон распределения 57 сл.
- Нормативно-техническая документация 12
- Нутромер 245
- Обжатие сопла 99
- Обжимная гильза 274
- Оборудование  
 блочная поставка 267  
 защита фторопластом 178  
 коэффициенты использования 54, 55  
 монтаж 24, 26, 280 сл.  
 надежность 57 сл.  
 наладка 340, 341  
 насосно-компрессорное 222 сл.  
 перевозка 271, 272  
 подвешивание к перекрытию 304  
 подъем 278 сл.  
 в здании 299  
 пуск 336 сл.  
 сварочное 310  
 способы хранения 266, 267  
 установка на фундаменте 278, 300 сл.

- Обработка на ремонтные размеры  
101 сл.  
способ дополнительных деталей  
102
- Обслуживающие площадки 340  
монтаж 310
- Объекты ремонта 5
- Овальность цилиндрических деталей  
138
- Огнеупорные материалы 199
- Однорольные блоки 276
- Ожидание, определение 19
- Окраска 49
- Опалубка 153, 198, 307
- Оперативное управление в период ре-  
монта 24 сл.
- Оправка(и) 111, 123, 137, 154, 189 сл.,  
250, 343, 351  
для статической балансировки 171,  
172  
калибровочные 183  
кольцевая 117  
концевая 119
- Опрессовка 143, 146, 293  
теплообменников жесткой кон-  
струкции 211
- Опорно-поворотное седло 272
- Опорные стойки 322 сл.
- Опорный сушарь 204, 206
- Организация ремонтных работ 5 сл.
- Осадка проушины 100
- Основные службы предприятия 5, 6
- Остаточная неуравновешенность  
126 сл.
- Отвердители 180, 187 сл., 246, 348
- Отводные блоки 276
- Отжиг 48
- Отказ(ы) 12, 13, 28, 52  
вероятность 57 сл.  
плотность распределения 57  
внезапные 56, 59  
вызываемые износом детали 56, 59  
кривая интенсивности 56  
приработочные 56  
функция плотности распределе-  
ния 57
- Отдел главного механика, основные  
функции 6
- Отпуск 48
- Оттяжка 273, 322  
тормозная 285, 317 сл.
- Очистка труб от отложений  
абразивная 205  
гидромеханическая 208  
гидропневматическая 208  
механическая 206  
пескоструйная 209  
пневмомеханическая 207  
ультразвуковая 209  
химическая 205
- Паронит 327, 348
- Пары  
сил 120, 126  
трения 34 сл., 173, 242
- Пассиватор 240
- Паста ГОИ 234, 257
- Пеньковые канаты 273
- Передачи 46, 194
- Передвижной монорельс 105, 106
- Печь(и) 8, 86, 177  
вращающаяся, узлы 10  
газовая нагревательная 155  
индукционные 84  
конвейерного типа 84  
муфельные 334  
разъемные 155  
электрические 78, 79, 90, 149,  
155, 177 сл., 246, 263, 333
- Плакирующий слой 79, 80, 150, 155  
наплавка 255  
отслоение и вздутие 148
- Планово-предупредительный ремонт  
(ППР) 6
- План организации подготовительных  
и пусконаладочных работ 337
- Планшайба 147, 189
- Пластификаторы 179, 187, 246
- Пластмассы 64, 153, 173 сл., 348
- Платформы 281, 283
- Плита-притир 243
- Пломбы-винты 157
- Плотность распределения вероятности  
отказов 57, 58
- Площадка(и)  
для хранения оборудования 266  
монтажные 218, 282, 300, 323, 328  
организация 266 сл.  
обслуживающие 340  
монтаж 310  
укрупнительной сборки 266 сл.
- Пневмогайковерт 290
- Пневмодрель 206, 231, 260
- Пневмозубило 344
- Пневмомолоток 344
- Пневмоперфораторы 305
- Пневмошлифовальные машинки 147,  
290
- Поверочная плита 135
- Поворотная цапфа 319
- Поворотный кронштейн 203
- Поворотный стол 332
- Погрузоразгрузочные работы 146,  
268, 272
- Подвесная многоярусная лопля 326
- Подетальная дефектация 137
- Подмости 11, 153, 253, 296, 342 сл.
- Подъемно-транспортное оборудование  
105, 263
- Показатель эффективности восстанов-  
ления детали 255

- Ползучесть металла 39  
 Полиизобутилен 153  
 Полимербетон 197, 198  
 Полимерные покрытия 201  
 Полимерсиликаты 198, 199  
     состав 199  
 Полипропилен 176, 179  
 Полиспаст(ы) 213, 273, 276 сл.  
     грузовые 284 сл.  
     запасовка 280, 293, 294  
     крупногабаритные 278 сл.  
     малогабаритные 278  
     стреловые 284  
     тяговый 285, 287  
 Полиэтилен 176, 300, 348  
 Полиэтиленполиамид 243, 246, 348  
 Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа 77, 81  
 Полугорячая сварка чугуна 83  
 Полужидкое трение 43, 44  
 Полумуфты 72, 135, 172, 246  
     допустимое биение 166, 234  
 Полусухое трение 43, 44  
 Портал(ы) 280, 285, 299, 319, 320, 323  
     схемы 287  
 Пузловая дефектация 137  
 Правка  
     валов 97, 98  
     вмятин 98  
     в трубах 209  
     выпучин 98  
     концевых участков полотнищ 324  
 Предварительная дефектация 137  
 Предельное состояние объекта, определение 52  
 Пресс(ы) 109, 161, 193  
     гидравлический 109, 347  
     винтовой 109  
     для запрессовки деталей 109  
     для изготовления прокладок 146  
     для правки валов 98  
     литьевые 175  
     рычажно-реечные 109  
 Прессовые посадки с гарантированным натягом 167  
 Пресс-форма 174 сл., 229  
     для заливки бутакрила 177  
     для изготовления кожаных манжет 196, 197  
 Призмы 121 сл., 333  
 Прижимы 159  
 Присадки к маслам 45  
 Прогибомеры 317  
 Просечки 147  
 Протекторная защита 50  
 Пружинная шайба 167  
 Псевдооживленный слой 175, 176  
*Пуассона* распределение 59  
 Пусконаладочные организации 336, 337, 340  
 Пусконаладочные работы 336 сл.  
 Пьезоэлектрический датчик 127  
 Пятна касания 117  
     смещение по длине зуба 171, 172  
 Работоспособность объекта 55, 67, 68, 73  
     определение 52  
 Работы  
     механомонтажные 263  
     монтажные 264, 266 сл., 349  
     основные 292  
     подготовительные 279 сл.  
     проектирование 264 сл.  
     на высоте 349  
     наладочные 336 сл.  
     нулевого цикла 266  
     погрузоразгрузочные 146, 268, 272  
     по опробыванию и испытанию 267  
     пусконаладочные 336 сл.  
     ремонтные 7 сл.  
     механизация 6, 8, 10, 146  
     сварочные 342, 354  
     механизация 292  
     строительно-монтажные 263 сл., 337  
     строительные 263  
 Разбаланс см. Дисбаланс  
 Разборка  
     шестеренчатого насоса 244  
     эмалированного аппарата 156  
 Развертывание рулона 218, 219  
 Раздача поршневых пальцев 99  
 Разделка кромок  
     вкладыша в штуцера аппарата 152  
     для сварки 78 сл.  
 Разъемная звездочка 70, 71  
 Резервная машина 10, 68  
 Резервуар для хранения нефти  
     демонтаж 218, 219  
     замена днища 220  
     исправление выпучин в днище 221, 222  
     монтаж 218, 219  
     нанесение цементного покрытия на днище 220, 221  
     окраска внутренней поверхности 221, 326  
     подготовка к ремонту 217  
     ремонт 218 сл.  
 Резина 191 сл., 348  
 Резиносмеситель  
     ротор, наплавка 87  
     узлы 10  
 Резка  
     абразивными кругами 294  
     огнеупорных материалов 199  
 Резьбонарезная машина 291  
 Релаксационные явления 160

## Ременные передачи, сборка 119

Ремни 196 сл.

дефекты 194

## Ремонт

антикоррозионных покрытий 15, 202

аппаратов

гуммированных 153

емкостных 216 сл.

колонных 212 сл.

теплообменных 202 сл.

арматуры 8, 202, 254

валов 77, 78, 159 сл.

вентиляторов 8

тильотинных ножиц 158

графитовых лабиринтных уплотнений компрессоров 196

грунтового основания под днищем резервуара 219, 220

гуммированных покрытий ремней 194

капитальный 9, 11, 13 сл., 217, 233, 253

классификация 9 сл.

компрессоров

поршневых 222 сл.

центробежных 232 сл.

корпусных деталей 77, 148 сл.

лакокрасочных покрытий 154

люков 155

мельниц 8

методы 10 сл., 103

механизация 10

муфт 165 сл.

направляющих металлорежущих станков 158

насосов

центробежных 239 сл.

шестеренчатых 244 сл.

некорпусных деталей 159 сл.

неподвижных соединений 167 сл.

нормативы 16

оперативное управление 23 сл.

оптимизация 28 сл.

организация 5 сл.

остановочный 10 сл., 253

планово-предупредительный 6, 13

поагрегатный 10

подетальный 10

подготовительный 10

подшипников 161 сл.

покрытий

полимерных 186

штуцеров 153

помашинный 10

по месту работ 10

порядок выполнения работ 342

поузловой 10

равномерно распределенный на год 10, 11

## Ремонт

резервуара для хранения нефти 218 сл.

сварных и паяных соединений 169 сезонный 10, 11

сетевое планирование и управление (СПУ) 12, 17 сл.

сетевые графики 17 сл.

стеклянных труб 189, 191

станин 158

тарелок царговых колонн 215

текущий 14 сл.

техника безопасности 342

транспортных лент 193

туб графитовых теплообменников 196

трубного пучка 209

трубопроводов 185, 186, 248 сл.

трудоемкость 16, 17

турбогазодувок 232 сл.

фундамента 197, 198

футеровки 15, 150 сл., 199, 202 цели 13

централизация 9

шестерен 165

шкива с применением накладок 77

шлангов 191, 192

шлицевых соединений 168

шнеков 80

шпоночного паза на валу 167

штуцеров 155, 158

эмалевого покрытия аппаратов

156, 157

Ремонтируемый объект, определение 53

Ремонтно-механический цех 6, 7, 25

Ремонтные заводы 9

Ремонтные карты 15

Ремонтные чертежи 6, 12

Ремонтный размер 101 сл.

Ремонтный цикл 28 сл.

Ремонтодоступность 67, 68

Ремонтопригодность 17, 28, 51, 53, 64

коэффициент 69, 70

повышение 67 сл.

Рентгенография 137

Ригель 284, 287, 288, 320

Роликовые ножи 148

Роликоподшипники, сборка 117

Рольганг 200

Рым-болт 350

Рычажные захваты 97

Сальники 46, 52 сл., 143, 144

Сборочная единица, определение 105

Сварка 12, 77 сл., 149, 202, 250

автогенная 93

алюминиевых сплавов 84, 85

аргонодуговая 81, 84 сл., 151

ацетилено-кислородная 77,

80, 84, 85

- Сварка  
 вала 77, 78  
 внутренних швов аппарата 296, 297  
 в среде углекислого газа 77, 81  
 дуговая 77 сл.  
 кузнечная 161  
 легированных сталей 77 сл.  
 металлоконструкций при монтаже 295  
 под флюсом 77  
 автоматическая 80  
 способы 77  
 чугуна 82 сл.  
 электрошлаковая 77  
 Сварочные автоматы 310  
 Сварочные полуавтоматы 80, 292  
 Сварочный пистолет 178, 179  
 Сверлильная машина 291  
 Сверло-оправка 192  
 Сетевой график 17 сл.  
 Составная звездочка 71  
 Специализированная ремонтная бригада 8  
 Специализированные пусконаладочные бригады 336  
 Специализированные ремонтные предприятия 9  
 Средства малой механизации монтажных работ 290 сл.  
 Способы опирания оборудования на фундамент 300, 301  
 Стальные проволочные канаты 273 сл.  
 Станок  
 абразивно-отрезной 294  
 балансировочный 128 сл.  
 горизонтально-расточный 256  
 для резки канатов 292  
 притирочный 146  
 с абразивным кругом 290  
 сверлильный 172, 189 сл., 243, 249, 259, 266, 343  
 токарный 159 сл., 233, 256, 327, 332 сл.  
 трубочный 330  
 фрезерный 168  
 хонинговальный 158  
 Стекло 189 сл.  
 Стеклоткань 178 сл.  
 Стенды 145, 146, 255, 268, 293, 310, 311, 328  
 Степень износа 94  
 Стиракрил 176  
 Стойки 320 сл.  
 Стрелы  
 временное расчаливание 283  
 прямая 281, 283  
 с гуськом 281, 283  
 соединение ригелем 284  
 опирание на опорные стойки 284  
 телескопическая 284  
 Строп(ы) 204, 273, 274 сл.  
 облегченный 274  
 универсальный 274, 275  
 цепные 250, 274  
 Строповка 266, 268, 276, 284, 285, 317 сл.  
 высоких аппаратов за корпус 315, 332  
 металлоконструкций 323  
 Строповочная консоль 319, 320  
 Стropy-траверсы 274  
 Струбина 147, 188, 202, 294, 297  
 Структура управления инженерными службами предприятия 7  
 Сухое трение 43  
 Такелажная оснастка 315, 317, 319  
 Такелажные работы 132  
 Тали 105, 106, 207, 213, 214, 293  
 Танталовая пломба 157  
 Таходинамо 127  
 Твердые смазки 44  
 Текстолит 330  
 Телескопические стойки 147  
 Тележки 106, 107, 203, 204, 280, 283, 308, 311 сл.  
 Тельферы 105  
 Тензометрический датчик 127  
 Теория графов 18  
 Теплообменник(и)  
 графитовый 196  
 вертикальный 205  
 горизонтальный 203 сл.  
 кожухотрубчатый, типовая сетевая модель ремонта 22, 23  
 опрессовка 211  
 чистка 296 сл.  
 Термоиндукторные краски 196  
 Территориальные ремонтно-строительные тресты 9  
 Техническая документация на ремонт 6, 12  
 Технический ресурс 53, 63  
 определение 52  
 Техническое (межремонтное) обслуживание оборудования 13, 29, 132  
 Технологические усы 151  
 Торкрет-покрытие 220, 221  
 Тормозный канат 317  
 Траверса 106 сл.  
 балансирная 276, 277, 285  
 Г-образная 107, 108  
 двухлучевая 276, 277  
 трехлучевая 276  
 уравнительная 322  
 Трайлер 272, 282  
 Транспортные операции, механизация 10

- Трубопровод(ы) 63, 75, 173  
 испытание на прочность и плотность 251  
 монтаж 329 сл.  
 погрузка и укладка плетей 333, 334  
 продувка 339  
 раздвижка фланцев 248, 249  
 ремонт 202, 249 сл.
- Турбокомпрессор 238
- Увеличители крутящего момента (УКМ) 291
- Углеродит 201, 242
- Узел(ы) 10 сл., 68 сл., 248, 250, 270  
 вращающейся печи 10  
 динамическая балансировка 125 сл.  
 подъем и перемещение 105 сл., 342  
 работоспособность 116  
 резиномесителя 10  
 сборка 116 сл.
- Ультразвуковой контроль 140, 141, 148, 149, 169
- Ультразвуковые теченскатели 142
- Универсальная подставка для вращения детали 146, 147
- Универсальные стенды 146
- Уплотнение(я)  
 двух плоских поверхностей («шип-паз») 348  
 линзовое («конус-сфера») 348  
 манжетное 72  
 сальниковое 247, 348  
 с надувной камерой 171, 172  
 торцовое 242 сл.  
 ремонт 243, 244
- Футеровка 63, 79, 144, 179  
 аппаратов 153  
 заварка сквозного дефекта 150, 151  
 ремонт 150 сл.  
 установка  
 вкладыша 152, 153  
 вставки 151
- Фиктивная работа, определение 19
- Фильтровальные ткани 74
- Фильтры 60, 339
- Флюс(ы) 77, 80, 81, 83 сл.  
 керамические 87  
 легированный 86, 87  
 обладающие действием физическим 88, 89  
 химическим 88
- Формовка 154, 181, 182
- Фторопласт 176 сл.
- Фторопластовые покрытия 178
- Фторопластовый уплотняющий материал (ФУМ) 215
- Фундаментные болты 301 сл., 310 сл., 326  
 основные типы 302, 303
- Фундаменты 300 сл.
- Функция плотности распределения от-казов 57
- Экспоненциальный закон распределе-ния 57 сл.
- Экстракторы 203
- Эластичная муфта 72
- Электроуылканизатор 195
- Электрогайковерт 290
- Электродинамометры 145, 347
- Электродуговая сварка 255  
 алюминиевых сплавов 85  
 чугуна 84
- Электроды 87 сл., 149, 211

## Оглавление

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава 1. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1. Организация ремонтной службы химического предприятия . . . . .	5
1.2. Система технического обслуживания и ремонта . . . . .	12
1.3. Сетевое планирование и управление . . . . .	17
1.4. Оптимизация ремонта химического оборудования . . . . .	28
<b>Глава 2. НАДЕЖНОСТЬ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ . . . . .</b>	<b>33</b>
2.1. Износ оборудования . . . . .	33
2.2. Надежность оборудования и технологических линий . . . . .	50
2.3. Ремонтопригодность оборудования . . . . .	67
Контрольные вопросы . . . . .	74
<b>Глава 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ . . . . .</b>	<b>76</b>
3.1. Сварка . . . . .	77
3.2. Наплавка . . . . .	85
3.3. Металлизация . . . . .	92
3.4. Методы электролитического восстановления деталей . . . . .	93
3.5. Восстановление деталей методом пластических деформаций . . . . .	97
3.6. Обработка деталей на ремонтные размеры . . . . .	101
Контрольные вопросы . . . . .	104
<b>Глава 4. РЕМОНТНЫЕ ОПЕРАЦИИ . . . . .</b>	<b>105</b>
4.1. Разборка и сборка машин и аппаратов . . . . .	105
4.2. <u>Балансировка вращающихся деталей</u> . . . . .	119
4.3. Контроль и испытания при ремонтных операциях . . . . .	131
4.4. Механизация ремонтных операций . . . . .	146
4.5. Ремонт корпусных деталей . . . . .	148
4.6. Ремонт некорпусных деталей . . . . .	159
Контрольные вопросы . . . . .	169
<b>Глава 5. ВОССТАВЛЯТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ С ДЕТАЛЯМИ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ . . . . .</b>	<b>173</b>
5.1. Пластмассы . . . . .	173
5.2. Стекло . . . . .	189
5.3. Резина . . . . .	191
5.4. Другие неметаллические материалы . . . . .	196
Контрольные вопросы . . . . .	200

<b>Глава 6. РЕМОНТ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> . . . . .	200
6.1. Ремонт теплообменных аппаратов . . . . .	202
6.2. Ремонт колонных аппаратов . . . . .	212
6.3. Ремонт емкостных аппаратов . . . . .	216
6.4. Ремонт насосно-компрессорного оборудования . . . . .	222
6.5. Ремонт трубопроводов и арматуры . . . . .	248
<b>Глава 7. ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> . . . . .	263
7.1. Структура монтажных организаций . . . . .	263
7.2. Проектирование монтажных работ . . . . .	264
7.3. Организация монтажной площадки . . . . .	266
7.4. Требования, определяющие удобства монтажа . . . . .	268
7.5. Перевозка оборудования . . . . .	271
<b>Глава 8. МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ</b> . . . . .	273
8.1. Подготовительные работы . . . . .	273
8.2. Основные работы . . . . .	292
8.3. Установка оборудования на фундаменте . . . . .	300
Контрольные вопросы . . . . .	307
<b>Глава 9. МОНТАЖ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> . . . . .	310
9.1. Монтаж колонных аппаратов . . . . .	310
9.2. Монтаж резервуаров . . . . .	323
✓ 9.3. Монтаж насосов и компрессоров . . . . .	326
9.4. Монтаж трубопроводов . . . . .	329
<b>Глава 10. ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ</b> . . . . .	336
<b>Глава 11. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ</b> . . . . .	342
<i>Литература</i> . . . . .	352
<i>Предметный указатель</i> . . . . .	354

**Владимир Иванович Ермаков**  
**Владимир Сергеевич Шейн**

## **РЕМОНТ И МОНТАЖ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Научный редактор *В. Е. Сороко*

Редактор *Ю. К. Кузнецов*

Техн. редактор *Д. Д. Некрасова*

Переплет художника *Б. Н. Осенчакова*

Корректор *М. З. Басина*

ИБ № 1101

Сдано в наб. 21.10.80 г. Подп. в печ. 13.03.81. М-31053.  
Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага тип. № 2.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 23. Уч.-изд. л. 26,44. Тираж 13 000 экз.  
Зак. 329. Цена 1 р. Изд. № 1853.

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия»,  
Ленинградское отделение, 191186, Ленинград, Д-186,  
Невский пр., 28.

Ленинградская типография № 6  
ордена Трудового Красного Знамени  
Ленинградского объединения «Техническая книга»  
им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
193144, г. Ленинград, ул. Мойсеенко, 10.