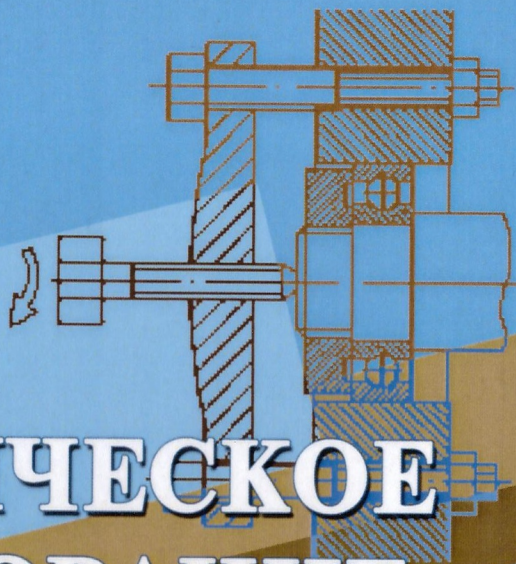
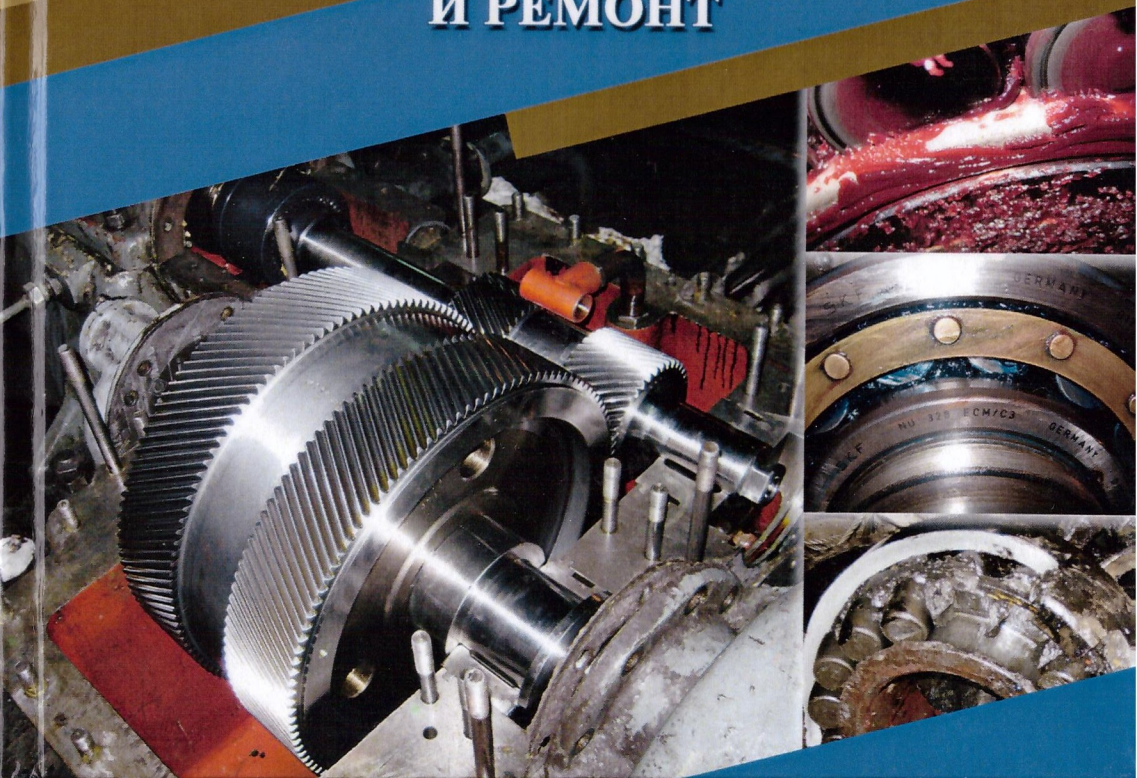


В. И. Бобровицкий
В. А. Сидоров



МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ: ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ



**В. И. Бобровицкий
В. А. Сидоров**

**МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ:
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
И РЕМОНТ**

Монография

Донецк
Юго-Восток
2011

УДК 658.58

ББК 6

Б 72

Розглянуто питання технічного обслуговування й ремонту механічного обладнання металургійних підприємств. Для фахівців, що займаються експлуатацією й ремонтом механічного обладнання металургійних підприємств.

Рецензенти:

Седуш В. Я. — д-р техн. наук, професор;

Берштейн И. А. — канд. техн. наук

*Рекомендовано к печати ученым советом
Донецкого национального технического университета
(протокол № 4 от 21.05.2010 г.)*

Бобровицкий В. И.

Б 72 Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В. И. Бобровицкий, В. А. Сидоров. — Донецк : Юго-Восток, 2011. — 238 с., 114 илл., 43 табл.

ISBN 978-966-374-636-4

Рассмотрены вопросы технического обслуживания и ремонта механического оборудования металлургических предприятий. Для специалистов, занимающихся эксплуатацией и ремонтом механического оборудования металлургических предприятий.

УДК 658.58

ББК 6

ISBN 978-966-374-636-4

© В. И. Бобровицкий, В. А. Сидоров, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
----------------	---

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Основные термины и определения	8
1.2. Стратегии технического обслуживания	11
1.3. Виды и особенности ремонтных воздействий	15
1.4. Причины физического старения машин	18
1.5. Управление эксплуатационными свойствами машин	21
1.6. Надежность оборудования	28

Глава 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ

2.1. Аксиомы работоспособного состояния	33
2.2. Шумы механизмов	36
2.3. Вибрация механизмов	40
2.4. Контроль температуры механизмов	44
2.5. Неразрушающий контроль деталей	48
2.6. Визуальный осмотр	52

Глава 3

ВИДЫ ИЗНОСА И ПОЛОМОК ДЕТАЛЕЙ

3.1. Виды механического изнашивания	58
3.2. Способы повышения надежности механического оборудования при механических видах износа	63
3.3. Виды разрушений и изломов	66
3.4. Последовательность осмотра изношенных деталей, характерные признаки и причины повреждений	71

3.5. Повреждения подшипников качения	77
3.6. Повреждения зубчатых передач	85

Глава 4

СБОРКА УЗЛОВ МЕХАНИЗМОВ

4.1. Сборка и разборка шпоночных, шлицевых соединений	90
4.2. Сборка и разборка резьбовых соединений	94
4.3. Сборка подшипников качения	101
4.4. Примеры монтажных схем подшипников качения	107
4.5. Примеры схем разборки подшипников качения	112
4.6. Сборка валов и зубчатых колес	117
4.7. Центрирование валов	124

Глава 5

СМАЗКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

5.1. Виды трения	131
5.2. Пластичные смазочные материалы (характеристики)	134
5.3. Пластичные смазочные материалы (особенности, способы подачи и контроля)	137
5.4. Жидкие смазочные материалы (характеристики)	147
5.5. Жидкие смазочные материалы (особенности, способы подачи и контроля)	151
5.6. Проверка качества смазочных материалов, продуктов изнашивания в смазке	156
5.7. Уплотнение подвижных соединений	162

Глава 6

УХОД И НАДЗОР

6.1. Шпоночные, резьбовые соединения, тормоза	169
6.2. Соединительные муфты	172
6.3. Подшипники качения	180
6.4. Подшипники скольжения	186
6.5. Зубчатые передачи и редукторы	188
6.6. Цепи, канаты, блоки	200

Глава 7

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

7.1. Допуски и посадки	207
7.2. Фундаменты	208
7.3. Обозначения и свойства сталей, бронз, баббитов	217
7.4. Мерительный инструмент	220
7.5. Сопротивление материалов	223
7.6. Основы термообработки	225
7.7. Обработка поверхности	227
ЛИТЕРАТУРА	235

ВВЕДЕНИЕ

Механическое оборудование во многом определяет эффективность работы металлургических агрегатов. Обеспечение работоспособного состояния машин и механизмов — основная задача ремонтной службы металлургического предприятия, которая достигается за счет своевременного и качественного проведения ремонтов и технического обслуживания. Главным фактором при поддержании работоспособного состояния является квалификация ремонтного персонала, инженерно-технических работников ремонтных служб. Качество ремонта оборудования определяет затраты на содержание оборудования, стоимость выпускаемой продукции, затраты на ликвидацию внеплановых остановок и аварийных ситуаций.

Главное требование в вопросе обеспечения высокого уровня квалификации инженеров-механиков — организация непрерывного повышения квалификации, обмена опытом. В настоящее время отсутствуют структуры, обеспечивающие переподготовку специалистов-механиков.

Появление новых ремонтных технологий, инструментов, стратегий технического обслуживания, возростание требований к показателям надежности оборудования металлургических агрегатов, эффективности проводимых ремонтов требуют повышения квалификации ремонтного персонала. Особенность эксплуатации и ремонта механического оборудования заключается в освоении передового опыта и осмыслении предыдущего. Законы классической механики незыблемы и не позволяют пренебрегать даже незначительными аспектами в работе механизмов.

С момента появления первых машин и по сегодняшний день перед механиками стоит задача обеспечения длительного срока службы механизма. Для этого на всех стадиях технического прогресса использовались различные методы: введение больших запасов прочности, тщательный контроль качества изготовления, резервирование, снижение общей металлоемкости механизма. Однако, как показывает практический опыт, главными являются квалифицированное техническое обслуживание и ремонт оборудования.

В книге рассматриваются основные вопросы, решаемые ремонтным персоналом металлургического предприятия: определение технического состояния механизмов; определение видов износа и поломок деталей; сборка узлов механизмов; смазывание механизмов; уход и надзор.

Безусловно, в столь малом объеме невозможно осветить все проблемы, возникающие при эксплуатации металлургического оборудования. Опыт работы с механическим оборудованием постоянно пополняется и обогащается. Целью книги является систематизация и обобщение вопросов и методов технического обслуживания и ремонта механического оборудования металлургических предприятий.

Книга предназначена для мастеров, механиков металлургических предприятий, занимающихся эксплуатацией и ремонтом механического оборудования. Книга может быть полезна студентам профессионального направления «Инженерная механика», при изучения курса «Эксплуатация механического оборудования».

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Основные термины и определения

Оборудование — технологические агрегаты, машины, механизмы, включая металлоконструкции, трубопроводы, футеровки, участвующие в процессе производства.

Агрегат — совокупность машин, механизмов, устройств и сооружений, связанных единым технологическим процессом.

Машина — комплекс механизмов, предназначенных для выполнения полезной работы.

Механизм — система кинематически взаимосвязанных узлов и деталей, предназначенных для преобразования вида движения.

Узел — разъёмное или неразъёмное соединение нескольких деталей.

Деталь — изделие, изготовленное как одно целое, разделение которого на части невозможно без повреждения.

Техническая эксплуатация оборудования

Любая машина проходит следующие стадии: проектирование, изготовление и эксплуатация. Идеи и свойства, заложенные конструкторами и машиностроителями, реализуются и проявляются на стадии эксплуатации [1].

Эксплуатация — совокупность всех фаз существования оборудования с момента взятия на балансовый учёт и до списания. Периоды эксплуатации: хранение, предремонтная ревизия, сборка, наладка и испытание, использование по назначению — включая все виды технического обслуживания и ремонта, демонтаж, утилизация.

Хранение — комплекс мероприятий по защите от разрушающего воздействия внешней среды и разукomплектования.

Ревизия — комплекс работ по установлению степени износа изделия для определения необходимого объёма ремонтных работ.

Сборка — комплекс работ по воссозданию изделия из составных частей.

Монтаж — вид сборочных операций, выполняемых с использованием грузоподъёмных машин для установки изделия на место.

Наладка — приведение фактических отклонений режимов работы в соответствие с нормативными параметрами.

Система технического обслуживания и ремонта (ТОиР) — совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий [2].

Техническое обслуживание — комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности изделия. Может включать: мойку, контроль технического состояния, очистку, смазывание, затяжку резьбовых соединений, регулировку, замену некоторых составных частей изделия (например, фильтрующих элементов).

Текущий ремонт — ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности изделия путём замены или восстановления отдельных частей. Основной вид ремонта в системе планово-предупредительных ремонтов.

Средний ремонт — ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса изделия с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры, контролем технического состояния, выполняемый в объёме, установленном нормативно-технической документацией.

Капитальный ремонт — ремонт, выполняемый для восстановления исправности и близкого к полному восстановлению ресурса изделия с заменой или восстановлением частей, включая базовые, самый продолжительный.

Плановый ремонт — ремонт, остановка на который осуществляется по требованиям нормативно-технической документации. Способствует сокращению объема ремонтных работ и уменьшает расходы на ремонт.

Неплановый ремонт — ремонт, поставка изделий на который осуществляется без предварительного назначения.

Регламентированный ремонт — плановый ремонт, выполняемый с периодичностью и в объёме, установленном эксплуатационной документацией, независимо от технического состояния изделия в момент начала ремонта.

Ремонт по техническому состоянию — плановый ремонт, объём и сроки которого определяются техническим состоянием изделия.

Методы выполнения ремонтных работ классифицируют в зависимости от заменяемых объектов: детальный, узловой, агрегатный.

Периодичность технического обслуживания (ремонта) — интервал времени или наработки между данным видом технического обслуживания (ремонта) и последующим таким же видом или видом большей сложности.

Цикл технического обслуживания — повторяющиеся интервалы времени или наработка изделия, в течение которых выполняются в определённой последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации все установленные виды периодического технического обслуживания.

Ремонтный цикл — повторяющиеся интервалы времени или наработка изделия, в течение которых выполняются в определённой последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации все установленные виды ремонта.

Запасная часть — составная часть изделия, предназначенная для замены находившейся в эксплуатации такой же части с целью восстановления исправности или работоспособности изделия

Разборка — расчленение изделия на составные части.

Демонтаж — вид разборочных операций, выполняемых с использованием грузоподъёмных машин для снятия изделия.

Работоспособное состояние определяется выполнением всех заданных функций процесса в границах заданных параметров. **Неработоспособное состояние** наступает при невыполнении одной из заданных функций или при выходе параметров процесса за заданные границы. **Исправное состояние** характеризуется соответствием объекта всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Если объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации — состояние характеризуется как **неисправное**. Дополнительно, для электро-механических систем, определяют понятие **правильности функционирования** — способность объекта выполнять в текущий момент времени предписанные алгоритмы функционирования со значениями параметров, соответствующим установленным требованиям.

В зависимости от необходимости проведения технического обслуживания и ремонта различают следующие категории технического состояния: **хорошее** — техническое обслуживание и ремонт не требуются; **удовлетворительное** — осуществляется техническое обслуживание и ремонт в соответствии с планом; **плохое** — проводится внеочередное техническое обслуживание или ремонт; **аварийное** — требуется немедленная остановка и ремонт.

Техническое состояние определяется наличием и развитием в объекте неисправностей. Виды неисправностей: **повреждения** — нарушения исправного состояния в процессе эксплуатации при сохранении работоспособного состояния; **нарушение функционирования** — нарушение алгоритма изготовления или эксплуатации; **дефект** — нарушение качества изготовления или монтажа элементов объекта.

Отказ — событие, связанное с необратимым нарушением характеристик объекта, приводящим к нарушению работоспособного состояния.

Сбой — событие, при котором в результате временного изменения параметров объекта возникают помехи, воздействующие на работоспособность. В дальнейшем работоспособность восстанавливается.

Диагностирование — определение технического состояния и неисправностей в механизме.

Диагноз — результат диагностирования технического состояния — установление неисправности в объекте и отнесение объекта к определенному классу технического состояния.

Алгоритм — последовательность действий, построенная по определенным правилам для достижения поставленной цели.

Дефектоскопия — метод выявления поверхностных и внутренних дефектов деталей.

1.2. Стратегии технического обслуживания

Появление первых машин поставило задачу контроля их технического состояния для определения рациональных сроков и видов ремонтных воздействий. В черной металлургии эта задача первоначально решалась путем контроля температуры, наблюдением за изменением вибрации и анализа шумов механизмов. В основном использовались органолептические методы. Осуществлялся контроль специалистами высокой квалификации, оснащенными простейшими приспособлениями и многолетним практическим опытом. В дальнейшем, при внедрении системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) [3], этот опыт был использован для составления правил технической эксплуатации. Такое тиражирование сказалось на качестве операций по наблюдению за техническим состоянием. Система ППР ориентировала ремонтные службы на поддержание безаварийной работы оборудования путем принудительной замены узлов в среднестатистические сроки. Часто это не приводило к желаемым результатам и увеличивало затраты на содержание оборудования.

Исследования надежности работы металлургического оборудования [4; 5], проведенные в 70-х...80-х годах, показали значительный разброс в сроках службы однотипных элементов. Это потребовало определения фактического состояния конкретного узла безразборными методами технической диагностики для эффективного управления надежностью оборудования на этапе эксплуатации.

В 90-х годах становится очевидной необходимость перехода на техническое обслуживание металлургического оборудования по фактическому состоянию, что сулит значительную экономию средств, затрачиваемых на обеспечение работоспособного состояния оборудования. Основой должно являться определение фактического состояния оборудования методами технической диагностики. Опыт применения средств технической диагностики на отдельных металлургических предприятиях показал высокую экономическую эффективность.

Существуют следующие стратегии технического обслуживания и ремонта, имеющие свои достоинства и недостатки:

1. Стратегия ремонтов до отказа применяется в случае использования многочисленных недорогих машин с дублированием каждого ответствен-

ного участка технологического процесса. Механическое оборудование эксплуатируется до выхода из работоспособного состояния — до отказа. Затраты на техническое обслуживание в этом случае минимальны. Возникающие отказы непредсказуемы и приводят к существенным затратам по их ликвидации.

Данная стратегия используется по отношению к недорогому вспомогательному оборудованию, имеющему резервирование. В этом случае замена механизма дешевле, чем затраты на его ремонт и обслуживание. При отсутствии резервирования производственный процесс на время ремонта приходится останавливать. Часто при эксплуатации оборудования, до выхода из строя, проводятся периодические измерения вибрационного состояния машины. Это позволяет рационально выбирать время ремонта и своевременно обеспечить подготовку к ремонту.

2. Стратегия планово-предупредительных ремонтов должна обеспечивать безотказную работу оборудования путем принудительной замены узлов и деталей в сроки, устанавливаемые на основе статистического анализа отказов (рис. 1.1). Установленное среднее значение норматива заранее предполагает аварийные отказы одних деталей и замену других, не отработавших свой ресурс. Следовательно, данная стратегия не исключает возможность возникновения аварийных отказов.

Фактически оказывается, что не менее 50 % регламентных ремонтных воздействий выполняются без особой необходимости. В некоторых случаях безотказность работы оборудования после технического обслуживания или ремонта снижается, иногда временно, до момента окончания процесса приработки, а иногда постоянно. Снижение показателей надежности обусловлено появлением отсутствовавших до обслуживания дефектов монтажа. Возникновение около 70 % отказов вызвано принудительным обслуживанием машин и оборудования.

3. Стратегия ремонтов по состоянию. По этой стратегии обслуживания состояние машин и механизмов контролируется периодически или в зависимости от результатов диагноза и прогноза технического состояния. Ремонт проводится в оптимальные сроки, в необходимом объеме. Основой для этого служит знание фактического состояния механизма. Это позволяет минимизировать объем ремонтов и обеспечить безаварийную работу. Эффективность применения стратегии может быть эквивалентна стоимости 30 % общего парка машин. На основании информации о техническом состоянии решаются задачи: определения сроков и объемов ремонта; выявление механизма с наихудшими параметрами, требующего немедленной замены; оценка качества проведенного ремонта; оценка состояния и качества монтажа нового оборудования. Эффективность решения этих задач обеспечивается за счет ремонта наиболее изношенного оборудования, ликвидации ошибок монтажа и контроля состояния оборудования, вступающего в эксплуатацию после ремонта.

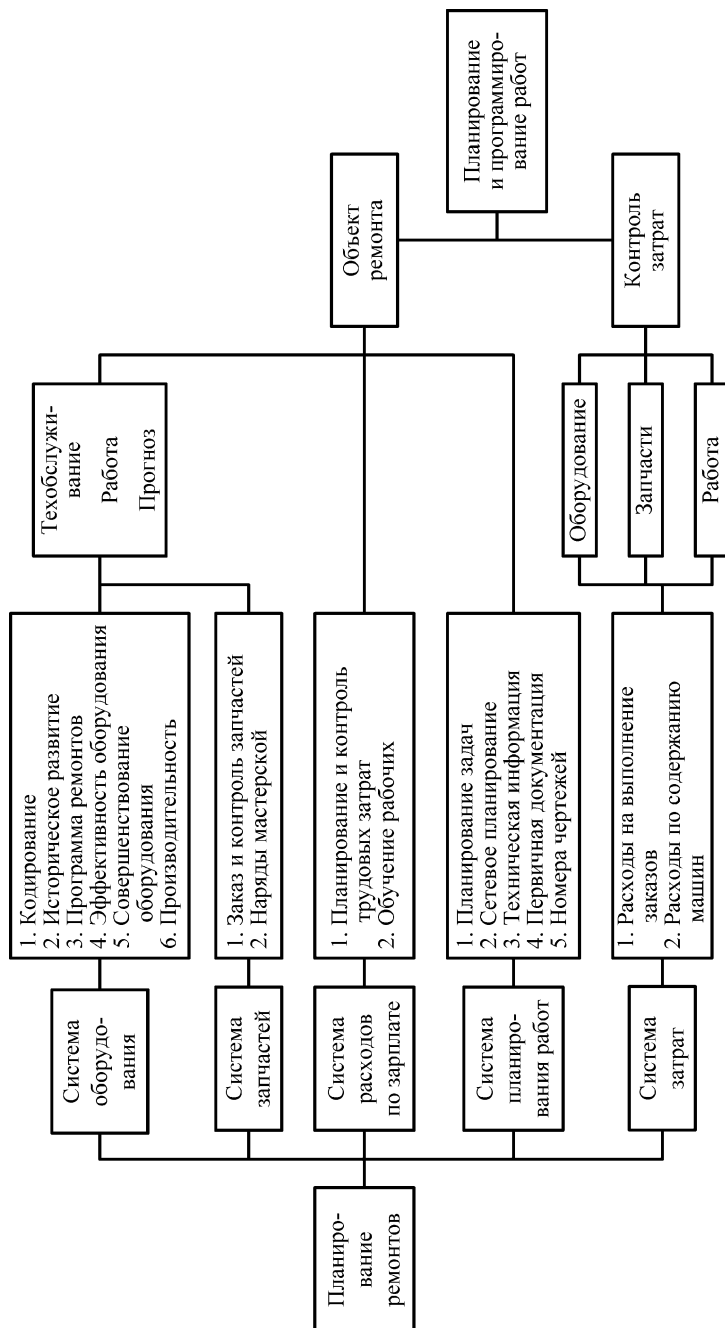


Рис. 1.1. Система планово-предупредительного ремонта

Виды стратегий технического обслуживания и ремонта подразделяются на две группы: пассивные и активные (табл. 1.1).

Таблица 1.1

**Сравнительная характеристика
стратегий технического обслуживания**

Наименование стратегии	Сущность	Достоинства	Недостатки
Реактивные			
Ремонт после отказа	Механическое оборудование эксплуатируется до выхода из работоспособного состояния — до отказа	Минимальные затраты на техническое обслуживание	Непредсказуемость возникающих отказов. Значительные затраты по ликвидации последствий отказов
Ремонт по состоянию	Техническое обслуживание и ремонт проводятся в зависимости от фактического состояния машин и механизмов	Ремонт проводится в оптимальные сроки, в необходимом объеме	Возможность одновременного отказа нескольких механизмов. Необходимость в ремонтных работах может превысить возможности ремонтной службы
Активные			
Планово-предупредительные ремонты	Принудительная замена узлов и деталей в сроки, устанавливаемые на основе статистического анализа отказов	Повышение безотказности работы оборудования	Значительные затраты на техническое обслуживание и ремонты. Замена работоспособных элементов
Активная стратегия ремонтных воздействий	Выявление и устранение отклонений и неисправностей в работе механизмов	Снижение объемов ремонтов и увеличение срока службы оборудования	

Пассивные стратегии в той или иной форме отвечают на изменение технического состояния. Соответственно — это ремонт после отказа либо ремонт по состоянию, когда оборудование достигнет предела своего возможного использования. В этом случае имеется возможность одновременного отказа нескольких механизмов, тогда необходимость в ремонтных работах превысит возможности ремонтной службы, что может привести к остановке технологического процесса.

Активные стратегии влияют на состояние оборудования до возникновения необходимости ремонта путем предупредительной замены узлов и деталей либо устранением отклонений и неисправностей в работе механизмов — активная стратегия ремонтных воздействий. Принудительная

замена деталей не всегда экономически оправдана, однако повышает безотказность работы оборудования. Проблематичным, в данном случае, является выбор рациональных сроков и объемов заменяемых деталей. Если техническое состояние оборудования известно, появляется возможность снизить объемы ремонтов и увеличить срок службы оборудования. Это осуществляется путем выявления и устранения дефектов и повреждений, приводящих к снижению ресурса.

1.3. Виды и особенности ремонтных воздействий

Класс металлургических машин имеет отличия в конструкции, процессах эксплуатации и технического обслуживания.

Конструктивные особенности: значительная мощность привода (1000...2000 кВт); большие габариты, отсутствие габаритных ограничений; значительные массы вращающихся и корпусных деталей; реализация в основном вращательного движения рабочего органа в широком диапазоне скоростей; преобладание низкоскоростных машин.

Эксплуатационные особенности: работа в условиях запыленности и высоких температур; работа в режиме холостого хода и под нагрузкой; наличие значительных динамических нагрузок, близких к ударным; нестабильность рабочих нагрузок.

Особенности технического обслуживания: наличие разветвленных, значительных по объему систем жизнеобеспечения (система смазывания; система охлаждения; система вентиляции); необходимость постоянного контроля технического состояния и поддержания работоспособного состояния ремонтной службой; значительные потери при аварийных остановках оборудования; технологические особенности ремонта крупногабаритного оборудования; значительное влияние качества технического обслуживания на техническое состояние машин.

Основное требование к металлургическим машинам — обеспечение проектной производительности при заданном уровне безотказности. Поддержание работоспособности машин — основная задача ремонтных служб металлургических предприятий. Главное требование — проведение ремонтов во время плановых остановок оборудования. Аварийные простои приводят к значительным потерям средств из-за срыва сроков поставок продукции, большей длительности ремонта ввиду отсутствия заранее подготовленных материальных и трудовых ресурсов, невозможности полной остановки всех взаимосвязанных металлургических агрегатов.

Последовательность выполнения ремонтных работ: обнаружение симптомов неисправности; установление причины, вида повреждения; принятие решения о выполнении ремонтных работ; подготовка материальных ресурсов (запасных деталей, материалов); подготовка трудовых ресурсов; остановка оборудования и подготовка к ремонту; выполнение операций

по замене узлов оборудования; регулировка и настройка машины; пробные запуски на холостом и рабочем ходу.

В случае плановой остановки — длительность ремонта соответствует длительности 4-х последних пунктов, при аварийной остановке — 9-ти подготовительных и основных операций. Установление причины отказа может занимать значительное время.

Практически для воздействия на работоспособность механизма могут быть использованы следующие виды ремонтных воздействий: регулировка, настройка механизма; затяжка резьбовых соединений; смазывание узлов и деталей; замена быстроизнашиваемых деталей; восстановление или замена корпусных деталей.

Известно, что процесс изнашивания деталей машин при эксплуатации имеет три этапа (рис. 1.2). **Первый этап** — приработка, при которой темп изнашивания повышен в результате истирания начальных неровностей или вследствие перекоса поверхностей сопряженных деталей. **Второй** — установившийся износ, когда происходит естественное изменение форм и размеров деталей в процессе работы машины. **Третий** — катастрофический износ, характеризуемый резким нарастанием интенсивности износа ввиду недопустимых изменений в сопряженных деталях. В этот период происходит отказ узла. Правильный выбор вида ремонтного воздействия и своевременность проведения обеспечивают не только надежность оборудования, но и влияют на экономические показатели работы ремонтной службы и предприятия в целом.

Эффективность влияния ремонтных воздействий имеет временные ограничения по мере истощения ресурса механизма и изменения технического состояния деталей. **Регулировка** — операция, характерная для заключительной стадии монтажа и начальной стадии эксплуатации. Наибольшее распространение имеют центрирование валов и регулировка осевого зазора. Правильная регулировка механизма — основа длительной эксплуатации.

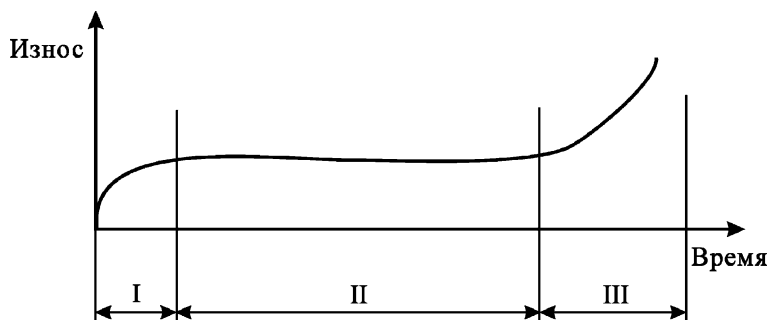


Рис. 1.2. Процесс изнашивания деталей

Смазка — наиболее ответственная операция, обеспечивающая возможность функционирования механизма. Качественная и своевременная подача смазки позволяет продлить ресурс машины даже при значительных дефектах элементов. Подача смазки необходима на всех периодах, однако особая эффективность отмечается на этапе длительной эксплуатации.

Затяжка резьбовых соединений — воздействие, которое позволяет избежать значительных динамических нагрузок, возникающих при раскрытии стыка соединяемых деталей. Данная операция входит в перечень работ, постоянно выполняемых ремонтной службой. Наибольшая эффективность этого воздействия соответствует начальному периоду (I) и периоду постепенного изнашивания (II) деталей. **Замена быстроизнашиваемых деталей** проводится для предупреждения их возможной поломки и предотвращения аварийной ситуации и должна, преимущественно, выполняться в начале III периода. **Восстановление корпусных деталей** — вынужденное ремонтное воздействие, связанное с нарушением условий нормальной работы механизма или поломкой узлов и деталей. Область применения определяется временной зоной до и после разрушения узла.

Каждому из описанных периодов жизненного цикла элементов машин (рис. 1.2) соответствуют наиболее рациональные виды ремонтных воздействий с позиции их влияния на техническое состояние. Трудность в практическом применении этого заключения в том, что индивидуальность характеристик элементов приводит к тому, что одновременно установленные детали находятся на различных стадиях жизненного цикла. Определение периода эксплуатации возможно при техническом диагностировании.

Затраты на выполнение ремонтных воздействий имеют примерно равные значения для регулировки механизма, затяжки, смазки; увеличиваются при замене быстроизнашиваемых деталей; значительно возрастают при восстановлении или замене корпусных деталей. Именно износ посадочных мест приводит к снижению эффективности ремонтных воздействий. Ликвидация последствий изнашивания, одновременно с заменой изношенных деталей имеют наиболее реальную возможность продлить срок эксплуатации оборудования. При этом наблюдается следующая закономерность: чем раньше обнаружено повреждение, тем меньше средств требуется для ликвидации.

Исходя из этой предпосылки, обнаружение повреждений механизма определяется как один из видов ремонтных воздействий, влияющий опосредованно на работоспособность механизма. Выполнение этой ремонтной операции проводится: по внешним симптомам, замеченным технологическим и дежурным персоналом; при проведении ревизий и осмотров оборудования ремонтным персоналом; при использовании безразборных методов технического диагностирования. Эффективность данных способов определяется степенью использования информации ремонтными службами.

Позднее предупреждение о неисправности может привести к аварийному простоя. Перечисленные способы обнаружения неисправностей различаются степенью упреждения отказа.

Внешние симптомы зачастую проявляются непосредственно перед отказом; использование визуального осмотра позволяет сделать упреждающие выводы о возможных неисправностях; диагностирование оборудования позволяет определить моменты зарождения дефектов и, проследив тенденции развития, выполнить прогнозирование сроков отказов на более длительный период. Предложенные методы опираются на определенную модель поведения механизма, с различной степенью упрощения.

Наблюдение за внешними признаками базируется на тезисе о низком уровне шума и вибрации нормально работающей машины. Определение видов изнашивания при визуальном осмотре позволяет предположить последовательность их развития. Диагностическая виброметрия, наиболее развитая в настоящее время, позволяет обнаружить повреждения на ранней стадии.

1.4. Причины физического старения машин

Условия работы металлургических машин разнообразны: значительные нагрузки, чаще переменные; большие скорости скольжения; контакт с расплавленным и жидким металлом; транспортировка и переработка сыпучих, монолитных, газообразных материалов; влияние коррозионной среды и т. д. Эти воздействия вызывают в машинах нарастающие изменения, происходит физическое старение деталей машин.

Эксплуатационные воздействия определяют причины **физического старения** машин. Причины старения связаны с несовершенством конструкции, технологией изготовления, ошибками при эксплуатации [1].

Установление причин физического старения машин является важной и трудной задачей ввиду многообразия причин, вызывающих старение. Знание этих причин является основой для нахождения путей управления процессами старения, эксплуатационными свойствами машин.

Старение — необратимые изменения свойств или состояния объекта в результате действия различных факторов.

Для объяснения физической сущности процессов старения рассматривается изменение структуры и свойств деталей машин на трёх уровнях: субмикроскопическом, микроскопическом и макроскопическом.

Субмикроскопический уровень: диффузия атомов в объёме и на поверхности детали; движение и взаимодействие точечных дефектов и дислокаций, разрыв межатомных связей. Эти вопросы рассматривают физика твёрдого тела, атомная физика и квантовая механика.

Микроскопический уровень: структурные превращения в сплавах (на уровне зерна материала), приводящие к изменению первоначальных

свойств материала; поверхностные явления в зоне трущихся поверхностей. Причины и следствия этих явлений изучают: физическая химия, термодинамика, механохимия, металловедение, триботехника.

Макроскопический уровень: изменение начальных свойств детали — деформации; изменения размеров при износе. Данные вопросы — предмет исследований теории упругости, теории пластичности, теории ползучести, триботехники — науки о трении и износе.

При рассмотрении процессов физического старения необходимо определить границу болезни. Получаем разделение: **естественное** старение — старение, соответствующее выработанным нормам, при нормальных условиях эксплуатации; **патологическое** старение — возникает при неблагоприятных условиях и ускоряет процесс естественного старения.

Основные истины: физическое старение машин неизбежно; процесс старения поддаётся управлению; основа для управления процессом старения — определение причин старения; знание причин старения позволяет правильно выбрать метод обнаружения, предупреждения или устранения причин патологического старения.

В соответствии со стадиями существования машины можно выделить следующие причины старения (см. рис. 1.3):

1. Конструкционные причины. При разработке машин руководствуются номинальными нагрузками, реальный же спектр нагрузок значительно отличается. Иногда, при определении нагрузок, не учитывают динамические силы, которые часто являются причиной разрушения деталей.

Реальные детали имеют сложную форму, и аналитическое определение напряжений в них методами сопротивления материалов затруднительно. Принятые допущения (идеализируя форму деталей) снижают или завышают необходимую прочность элементов машин. Увеличение размеров деталей ведёт к возрастанию сил инерции, росту первоначальной и эксплуатационной стоимости, увеличению массы запасных частей.

Плохая ремонтпригодность, низкий уровень стандартизации и унификации не обеспечивают качественного проведения ремонтов и снижают эффективность работы машин. Одна из причин старения — отсутствие или низкое качество документации, регламентирующей режимы работы, признаки патологического старения, допустимую степень старения.

Отсутствие средств контроля параметров функционирования машин приводит к перегрузке, перегреву, нарушению условий смазывания, к несвоевременному устранению неисправностей и к возникновению отказов.

2. Технологические причины. Технология изготовления и сборки металлургических машин определяет уровень качества и надёжности.

Во многих случаях отсутствует система контроля соответствия детали чертежу. Отсутствует единый подход к качеству изготавливаемых деталей и техническому обслуживанию механизмов. Под совершенством технологи-

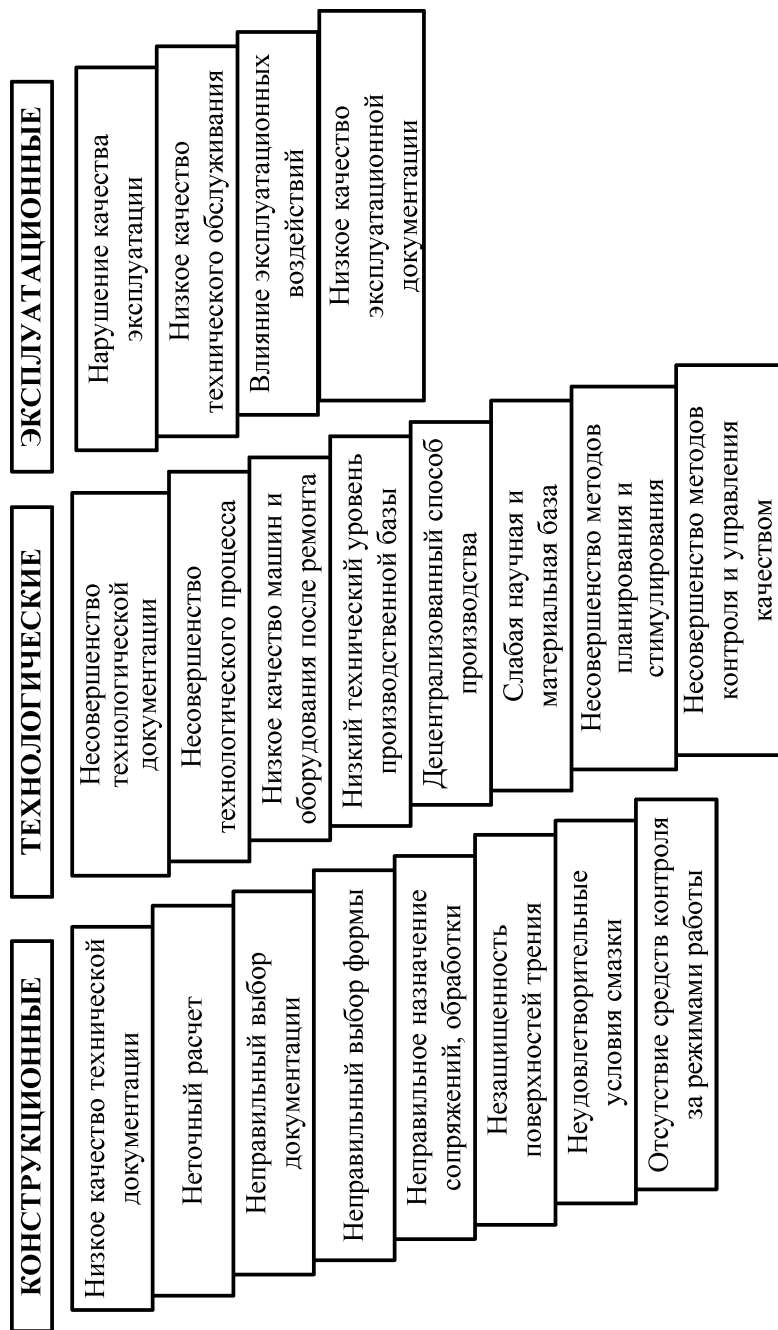


Рис. 1.3. Причины физического старения металлургических машин

ческого процесса следует понимать способность обеспечивать изготовление и сборку машин в соответствии с требованиями нормативно-технологической документации. Из-за несовершенства технологического процесса, на любой стадии изготовления или сборки могут возникнуть дефекты как результат нарушения хода технологического процесса или неблагоприятного сочетания различий. Основные группы дефектов: дефекты литья, пластической деформации (ковки, прокатки), механической обработки, сварки и наплавки.

Дефекты сборки: несоблюдение зазоров в сопряжённых соединениях; отклонения от требований к степени затяжки резьбовых соединений, сборка с перекосом; неправильная регулировка, наличие забоин.

Дефекты, возникающие на промежуточных технологических операциях, могут оставаться незамеченными и перейти в готовую деталь — это явление называется технологической наследственностью. Дефекты изготовления и сборки способствуют протеканию в материале деталей патологических процессов физического старения под влиянием эксплуатационных воздействий. Эксплуатационные свойства деталей, как правило, контролю не подлежат.

3. Эксплуатационные причины физического старения (см. рис. 1.4) являются следствием эксплуатационных воздействий и несоблюдения нормативов технологического процесса.

Виды физического старения — это выражение конкретных изменений, которые произошли с материалом деталей (см. рис. 1.5). По виду старения можно установить наиболее значимый вид эксплуатационного воздействия — причину старения, а следовательно, найти способ уменьшения вредного влияния на деталь.

Классификация физического старения деталей металлургических машин приведена на рис. 1.5.

Признаки старения: изменение физического состояния детали (деформации); изменение параметров функционирования машины (вибрации); прекращение функционирования (излом зуба); изменение качества обрабатываемой машиной продукции (качество реза); изменение влияния на окружающую среду (выброс пыли в атмосферу); изменение уровня безопасности (число разрушенных проволок в прядях каната); изменение трудоёмкости восстановления (износ футеровки).

Для определения состояния машины по этим признакам существует два способа: прямой и косвенный.

1.5. Управление эксплуатационными свойствами машин

Изменение уровня надёжности обусловлено внешними и внутренними воздействиями на машину [6]. Имеются три основных источника воздействия: энергия окружающей среды (включая оператора и ремонтника);

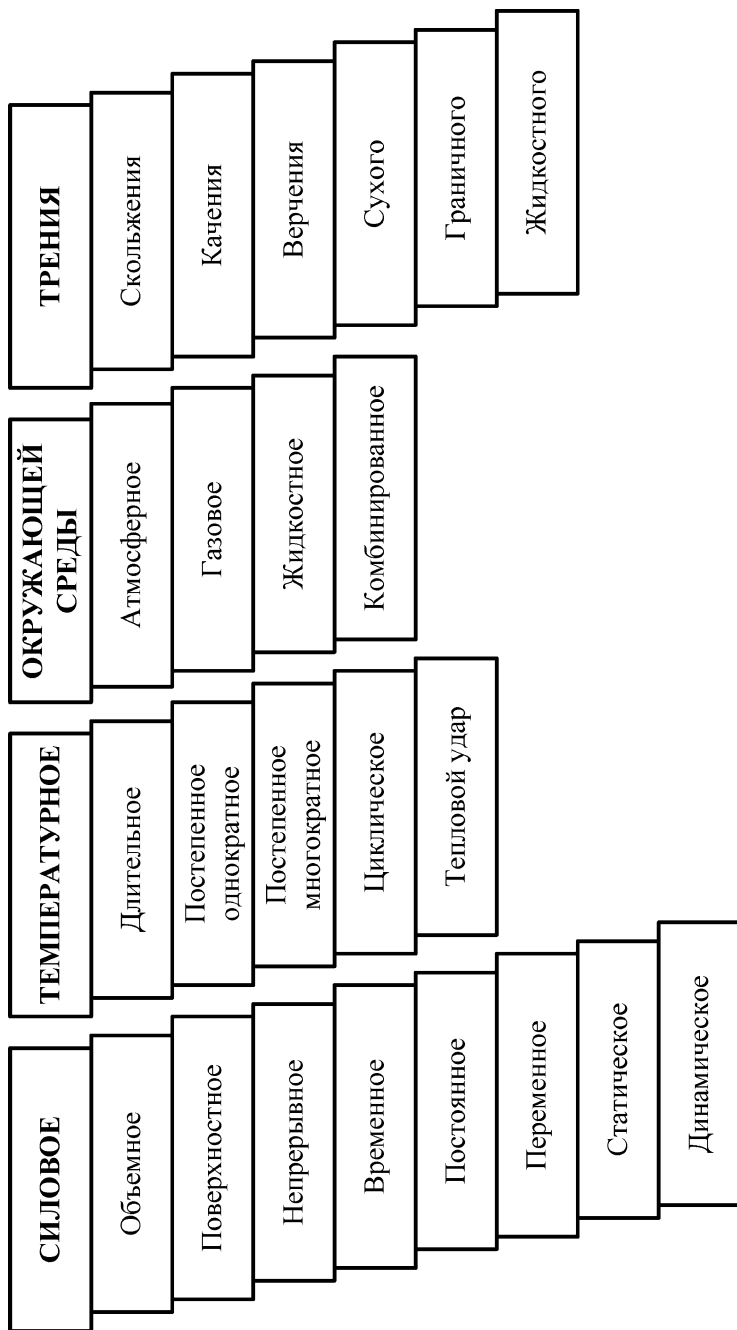
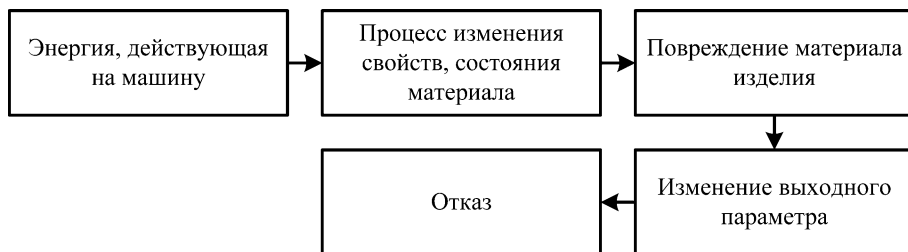


Рис. 1.4. Виды эксплуатационных воздействий на детали металлургических машин

СИЛОВОЕ			ТЕМПЕРАТУРНОЕ		ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	ТРЕНИЯ		
Деформация	Разрушение	Остаточная	Изменение механических свойств материала	Изменение механических свойств материала		Изнашивание	Коррозионно-механическое	Молекулярно-механическое
Упругая (недопустимая)	Неполное		Деформации остаточные	Коррозия	Изменение механических свойств материала		Окислительное	Адгезионное
	Полное (объемное)		Разрушение хрупкое, объемное	Сплошная			Фреттинг-коррозия	Избирательный перенос
	Вязкое		Разрушение от термоусталости	Локальная				
	Хрупкое		Ползучесть	Щелевая			Механическое	
	Усталостное		Окисление	Контактная			Усталостное	
				Коррозионно-механические разрушения			Абразивное	
				Коррозионная усталость				
				Коррозионное растрескивание				

Рис. 1.5. Классификация физического старения деталей металлургических машин

внутренние источники энергии (привод); потенциальная энергия, накопленная в материале деталей машины при их изготовлении (внутренние напряжения от литья, сварки, термообработки, монтажные напряжения). Практически на машину действуют все виды энергии. Накопление малых количественных изменений ведет к изменению качественного состояния машины, к переходу из одного (работоспособного) состояния в другое (неработоспособное). Схематически это показано на рис. 1.6.



*Рис. 1.6. Схема накопления причинных воздействий отказа
(по А. С. Проникову)*

Фактически для возникновения отказа необходимо выполнение следующих условий: достаточный уровень энергии для возникновения отказа; приведение к повреждению детали возникшего процесса; приведение данного повреждения к изменению выходного параметра; превышение параметром допустимых пределов. Все процессы воздействия на машину можно разделить на обратимые (упругая деформация) и необратимые (старение, коррозия, усталостные повреждения). Наиболее отчетливо процессы накопления необратимых повреждений проявляются при усталостном разрушении.

Исходя из стадий существования машин и причин физического старения [1], для управления техническим состоянием машин необходимо использовать различные методы (рис. 1.7).

Конструкторские методы. При выборе конструктивных решений необходимо предусматривать: разработку кинематической схемы и рациональной компоновки основных узлов; применение прогрессивных механизмов (гидравлических взамен зубчатых, винтовых, рычажных), закрытых узлов трения вместо открытых; уменьшение влияния динамических сил и вибраций, температурной деформации; рациональный вид трения и изнашивания в сопряжениях; обеспечение необходимой ремонтпригодности; применение эффективных фильтров для очистки масла и жидкости; приспособленность к диагностированию состояния.

Материалы и технологическое улучшение имеют основное значение при управлении надежностью машин. Чем выше способность материалов сопротивляться внешним воздействиям, чем выше эксплуатационные свой-

КОНСТРУКТОРСКИЕ	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ	ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
Выбор оптимальных конструкторских решений	Совершенствование технологической документации	Контроль режимов эксплуатации и оценка состояния
Выбор материалов	Совершенствование технологического процесса	Качество текущего обслуживания
Расчет по критериям надежности	Совершенствование производственной базы	Соблюдение режимов эксплуатации
Регламентация условий эксплуатации	Совершенствование средств контроля	
	Качество конструкционных материалов	

Рис. 1.7. Методы управления эксплуатационными свойствами элементов машин

ства, тем выше сроки службы деталей. Эксплуатационные свойства должны зависеть от вида и величины эксплуатационных воздействий. Однако принципы выбора разработаны недостаточно и сводятся к перечислению материалов, более или менее удовлетворительно зарекомендовавшим себя в работе. На период проектирования вид и величина эксплуатационных нагрузок приблизительно отражает будущее фактическое распределение, поэтому выбор материалов в большинстве случаев проводят эмпирическим путем, часто не оптимальным.

Методы расчетов деталей по критериям надежности должны обеспечивать равностойкость деталей. В идеальной машине все детали должны выработать свой ресурс одновременно, пока же решается задача о равностойкости в пределах узлов.

Многообразие факторов, вызывающих старение, их взаимосвязь и нелинейная зависимость в настоящее время не позволяют получить достаточно строгие выражения параметров надежности на базе физических закономерностей. На практике используют полуэмпирические и эмпирические закономерности наиболее важных факторов старения.

Конструктор, принимая определенные решения при разработке машины, должен учитывать вид и величину эксплуатационных воздействий, тонкости рабочих процессов и особенности эксплуатации. Это дает основание предвидеть поведение машины и деталей, а следовательно: регламентировать параметры надежности (начальное, предельное состояние, срок службы) и условия эксплуатации; определить номенклатуру быстроизнашивающихся деталей; разработать требования к регулировкам, режимам смазывания.

Технические условия на изготовление и сборку машин должны включать условия обеспечения их надежности. Надежность регламентируется последовательностью технологических операций, применяемыми методами и режимами обработки, определенными характеристиками качества деталей.

Для обеспечения эксплуатационных свойств металлургических машин, определяющих требуемый уровень надежности, **технологическими методами** необходимо целенаправленное воздействие на все этапы технологического процесса (производство металла, заготовок и деталей). Надежность готовой детали во многом зависит от качества металла, заготовок и поверхностной обработки.

Технологический процесс: плавка, литье, условия кристаллизации (качество литья) — обработка металла давлением (расположение волокон) — механическая обработка (качество поверхностных слоев волнистость, шероховатость) — обработка поверхности (цементация, азотирование, воронение).

Контроль режимов технологического процесса предупреждает появление дефектов и эффективно обеспечивает качество деталей и машин.

Контроль изготовленных деталей позволяет лишь определить дефект, а не устранить его. Чем выше требования к надежности, тем важнее осуществлять контроль на всех стадиях технологического процесса: производство металла, изготовление заготовок, деталей, сборка. Используются при этом методы дефектоскопии: рентгеновский, капиллярный, ультразвуковой, звуковой, магнитный, электромагнитный.

Эксплуатационная информация о состоянии деталей и машин является основной для управления надежностью машин. На этапе эксплуатации решаются задачи: назначение и соблюдение рациональных режимов работы машин; достижение высокого качества технического обслуживания. Сбор и обработка эксплуатационной информации должны осуществляться технической инспекцией, имеющей средства технического диагностирования, которые осуществляют контроль правильности эксплуатации и качества профилактических работ.

Соответственно основным этапам жизненного цикла механизма следует выделить неисправности, связанные с: конструкторскими ошибками или ошибками при проектировании; дефектами изготовления или ремонта; ошибками, допущенными при монтаже; результатами эксплуатации механизма. Указанные виды неисправностей имеют различное проявление во время функционирования механизма.

Неисправности, связанные с дефектами изготовления или ремонта, проявляются сразу после запуска механизма и присутствуют на протяжении всего периода эксплуатации. Повлиять на эти неисправности путем регулировки, затяжки, балансировки, либо другого вида безразборного ремонтного воздействия, невозможно. Иногда эти дефекты начинают прогрессировать по мере износа механизма или увеличения степени нагружения. Обычно это: изгиб вала, овальность посадочных мест подшипников, ослабление посадки подшипников на валу и в корпусе механизма, эксцентриситет посадочных поверхностей деталей, ошибки при изготовлении соединительных элементов.

Неисправности, вызванные ошибками, допущенными при монтаже, проявляются сразу же после запуска в случае явных повреждений либо через 1...2 месяца после ввода механизма в эксплуатацию при скрытых ошибках. Чаще всего ошибки монтажа связаны с неравномерностью затяжки резьбовых соединений или недостаточными усилиями затяжки, неправильным центрированием валов проводного и исполнительного механизма, неверным смазыванием, перекосами механизма и его узлов. Данные неисправности должны устраняться путем регулировки, затяжки либо другого вида безразборного ремонтного воздействия в период пробных пусков.

Процессы, протекающие в механизме в процессе эксплуатации, приводят к постепенному накоплению повреждений в течение 2...3 лет, а за

тем к ступенчатому изменению диагностических параметров, вначале в пределах допустимых, а затем недопустимых значений. Данные повреждения связаны с износом подшипников, нарушением уравнированности ротора при абразивном износе, изгибе вала, проседании фундамента, ослаблении резьбовых соединений. Устранение данных повреждений возможно при соблюдении условия целостности элементов механизма. Ремонт путем замены должен предварять начало повреждения базовых поверхностей.

1.6. Надежность оборудования

Надёжность — свойство объекта сохранять во времени, в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. В теории надёжности различают: **техническую надёжность** — оценка которой проводится по результатам испытаний в заводских или стендовых условиях; **эксплуатационную надёжность** — определяемую в реальных условиях использования изделия.

Понятие надёжности включает в себя: безотказность; долговечность; ремонтпригодность; сохраняемость. Терминология теории надёжности регламентируется ГОСТ 27003-90 [7].

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Определяющей особенностью безотказности является непрерывное сохранение работоспособности в течение заданного времени.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Классификация отказов приведена на рис. 1.8.

Классификация отказов. В соответствии с ГОСТ 27.002-83 отказы подразделяются на восемь видов. **Внезапный отказ** характеризуется скачкообразным изменением одного или нескольких параметров объекта. **Постепенный отказ** характеризуется постепенным изменением значений одного или нескольких параметров объекта, т. е. закономерным изменением параметра за время, предшествующее отказу (износные отказы). **Независимый отказ** объекта не обусловлен отказом другого объекта. **Зависимый отказ** обусловлен отказом другого объекта. **Перебегающий отказ** — многократно возникающий самоустраняющийся отказ объекта одного и того же характера. **Конструкционный отказ** возникает в результате несовершенства или нарушения правил и норм конструирования. **Производственный отказ** возникает в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления объекта, выполняющегося на машиностроительном предприятии. **Эксплуатационный отказ** возникает в результате нарушения установленных правил или условий эксплуатации объекта. ГОСТ 24.010.05-78 дополнительно регламентирует наличие внешних проявлений: очевидный (явный) и скры-

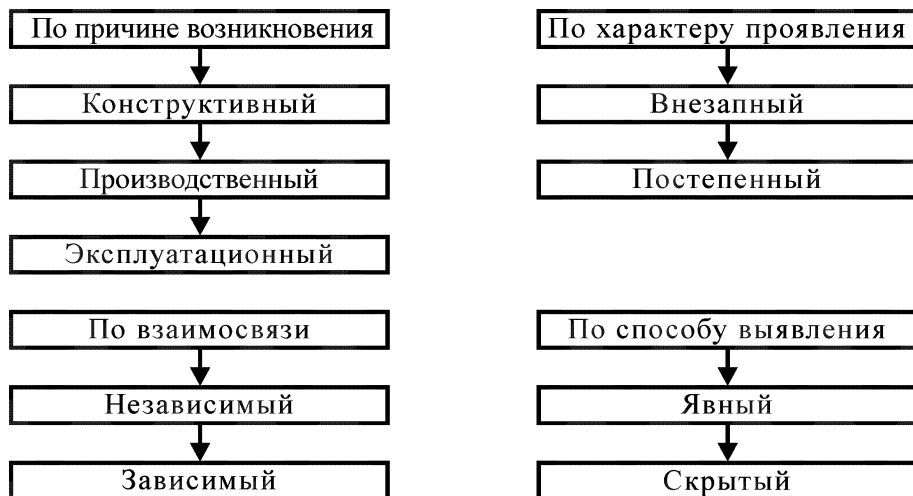


Рис. 1.8. Классификация отказов

тый (неявный) отказ. Степень возможности последующего использования изделия: сбой, частичный отказ, систематический отказ, полный отказ. Время возникновения отказа: при испытаниях, в период приработки, в период нормальной эксплуатации, в последний период эксплуатации.

Работоспособное состояние определяется выполнением всех заданных функций процесса в границах заданных параметров. **Неработоспособное состояние** наступает при невыполнении одной из заданных функций или при выходе параметров процесса за заданные границы. **Исправное состояние** характеризуется соответствием объекта всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Если объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации — состояние характеризуется как **неисправное**. Дополнительно, для электро-механических систем, определяют понятие **правильности функционирования** — способность объекта выполнять в текущий момент времени предписанные алгоритмы функционирования со значениями параметров, соответствующими установленным требованиям.

Виды неисправностей: **повреждения** — нарушения исправного состояния в процессе эксплуатации при сохранении работоспособного состояния; **нарушение функционирования** — нарушение алгоритма изготовления или эксплуатации; **дефект** — нарушение качества изготовления или монтажа элементов объекта.

Если объект переходит в неисправное, но работоспособное состояние, то это событие называют **повреждением**; если объект переходит в неработоспособное состояние — **отказом**.

Предельное состояние — состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению или восстановление недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Все объекты подразделяются на **ремонтируемые** и **неремонтируемые**. **Ремонтируемый объект** — объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической и конструкторской документацией. **Неремонтируемый объект** — объект, ремонт которого невозможен и не предусмотрен.

Ремонтируемые объекты можно разделить на **восстанавливаемые** и **невосстанавливаемые**. **Восстанавливаемый объект** — объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической документации. **Невосстанавливаемый объект** — объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено.

Безотказность исчисляется временем или наработкой. **Наработка** — продолжительность или объем работы объекта. Выражается во времени функционирования или в единицах объема выполненной работы за промежуток времени (ч, сут., циклы нагружения, т).

Для количественной характеристики безотказности металлургических машин применяют следующие показатели.

Средняя наработка на отказ T — математическое ожидание наработки объекта от начала его эксплуатации до возникновения отказа. **Вероятность безотказной работы $P(t)$** — вероятность того, что за время t отказа объекта не произойдет, т. е. наработка на отказ T объекта примет значение, большее t (вероятность события $T > t$). **Вероятность отказа $Q(t)$** — вероятность того, что за время t отказ объекта наступит, т. е. время работы T объекта до отказа примет значение, меньшее t (вероятность события $T < t$). **Интенсивность отказов $\lambda(t)$** — вероятность возникновения отказа объекта для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Долговечность — это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Основной показатель долговечности — **технический ресурс** — наработка объекта от начала эксплуатации или капитального ремонта до наступления предельного состояния, выражающийся в показателях суммарной наработки или срока службы.

Для количественной оценки долговечности используются следующие показатели. **Средний ресурс T_p** — средняя наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Различают полный, использованный, остаточный ресурс. **Сред-**

ный срок службы T_{cl} — это календарная продолжительность эксплуатации объекта в те же сроки.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и в приспособленности к восстановлению работоспособного состояния с помощью технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтопригодность количественно оценивается следующими показателями.

Среднее время восстановления работоспособного состояния τ — средняя продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта. **Вероятность восстановления работоспособного состояния** $P(\tau)$ — вероятность того, что время восстановления работоспособности объекта не превысит заданного τ . **Интенсивность восстановления** $\mu(\tau)$ — вероятность восстановления объекта для момента τ при условии, что к этому моменту объект не восстановлен.

К комплексным показателям относится коэффициент готовности.

Коэффициент готовности K_g — вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Для анализируемого промежутка времени коэффициент готовности можно рассчитать по формуле:

$$K_g = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i},$$

где t_i — наработка на отказ; τ_i — время восстановления; n — число отказов.

Ремонтопригодность определяется: контролепригодностью, доступностью, легкоосъемностью, восстанавливаемостью, взаимозаменяемостью, блочностью, степенью унификации, количеством точек смазывания.

Сохраняемость — свойства объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности в течение или после хранения или транспортирования.

«Классический» характер изменения надёжности любого изделия можно представить в виде потока отказов, при этом используют законы: экспоненциальный, нормальный и распределение Вейбулла.

Известны примеры применения теории вероятности и математической статистики для оценки надёжности металлургических машин [1]. При этом статистика отказов даёт представление об уровне надёжности с большим опозданием. Для накопления информации об отказах требуется боль-

шой промежуток времени. Отсутствие анализа и причин отказов, большая часть которых не связана со свойствами машины, вызывает сомнения в достоверности такой оценки и не даёт возможности прогнозирования надёжности.

А. И. Целиков [1] писал, что индивидуальный характер производства металлургических машин, их исключительно высокая стоимость, металлоёмкость и специфические условия эксплуатации, относительно большой интервал времени между изготовлением машин-прототипов — всё это делает невозможным применение для расчётов количественных методов теории надёжности, основанной на законах больших чисел. Нельзя совершенствовать надёжность прокатного стана такими же методами, как это делается, например, в автотракторной промышленности. Не статистика отказов является ключом для обеспечения надёжности металлургических машин, а целенаправленное воздействие на эксплуатационные свойства элементов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ

2.1. Аксиомы работоспособного состояния

Основными элементами механических систем являются: валы, оси, подшипники, корпусные детали, уплотнения, резьбовые соединения, муфты. Для успешной эксплуатации элементы механизма должны выполнять требования по обеспечению функционального назначения.

Вал — деталь, вращающаяся вокруг своей оси, предназначенная для передачи крутящего момента и для поддержания вращающихся деталей механизмов. Основное требование для жестких валов — прямолинейность, работа в области упругих деформаций, правильность расположения вала, обеспечение постоянного положения деталей, отсутствие износа посадочных мест, совпадение оси вращения и оси инерции. **Ось** — деталь, предназначенная для поддержания вращающихся деталей, не передающая крутящий момент.

Подшипники служат опорами для валов, обеспечивая вращение с минимальным коэффициентом трения, совместно с системой смазывания. **Корпусные детали** поддерживают подшипники, обеспечивают правильное расположение валов. **Резьбовые соединения** соединяют корпусные детали и обеспечивают нераскрытие стыка соединяемых деталей. **Уплотнения** — детали, герметизирующие внутренний объем корпуса механизма от утечек масла и попадания загрязнений (иногда устанавливаются на соединительные элементы). **Соединительный элемент** предназначен для передачи вращающего момента от приводного вала к ведомому, компенсации углового и радиального смещения валов. **Фундамент** должен обеспечивать неподвижное и устойчивое положение корпусных деталей механизма. **Исполнительный элемент** — рабочее колесо, грохот, приводной ролик, барабан, предназначен для выполнения полезной работы в соответствии с функциональным назначением механизма.

Соединение данных элементов создает механическую систему, выполняющую определенную работу, либо преобразующую движение. Наиболее характерной для механизма является схема роторного типа, включающая: электродвигатель — соединительный элемент — исполнительный орган. Данная схема позволяет обеспечить разнообразие конструкций и выполняемых операций на базе единого конструкторского решения. Конструктивное исполнение основывается на однотипных элементах и является типичным для электропривода.

Основным конструкторским решением, наиболее характерным для роторных механизмов, является кинематическая схема с двухопорным валом (рис. 2.1). По расположению исполнительного органа 7, в качестве которого может выступать ротор насоса или вентилятора, колесо компрессора, зубчатое колесо, различают схемы с межопорным (рис. 2.1, а) и консольным (рис. 2.1, б) расположением. В целом механизм включает ротор электродвигателя 1, с подшипниковыми опорами 2, статором 3, соединительный элемент — муфту 4, вал 5 исполнительного механизма. Вал 5 установлен на подшипниковых опорах 6. Различное конструкторское исполнение узлов позволяет использовать ее в большинстве механизмов.

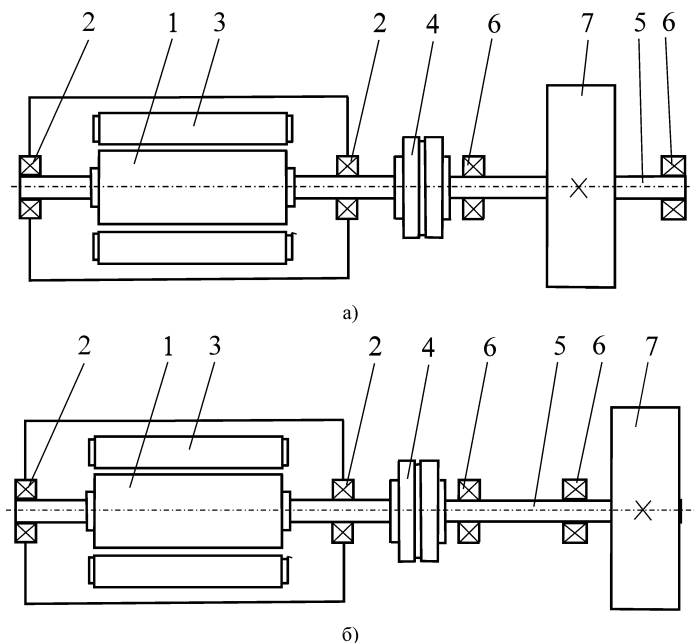


Рис. 2.1. Кинематическая схема механизма: а) с межопорным; б) с консольным расположением рабочего органа

Приведенным кинематическим схемам отвечают практически все механизмы, используемые в промышленности: насосы; центрифуги; воздухоувулки; дымососы. Схема механизма с двухопорным валом является типовой для любой конструкции. Кинематическая схема двухопорного вала является также основным конструкторским решением для механизмов с редукторным приводом, наиболее часто используется для согласования механических параметров двигателя и исполнительного органа. В этом случае соединение двухопорных валов с помощью зубчатых передач и объе-

динение этих узлов в одном корпусе предоставляет возможность изменения частоты вращения и передаваемого момента в редукторе 8 (рис. 2.2).

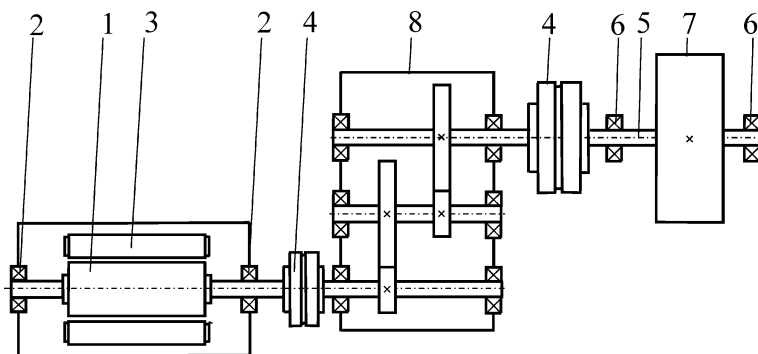


Рис. 2.2. Кинематическая схема механизма с редуктором

Схемы редукторного привода наиболее часто используются в грузоподъемных механизмах, приводах транспортирующих машин, в горных и металлургических машинах.

Основные характеристики изнашивания деталей общего назначения указаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристика изнашивания деталей

Узлы, детали	Изнашивание	
	Расположение	Проявление
Валы и оси	Места концентрации напряжений. Места подвижных соединений. Рабочие поверхности шлицевых и шпоночных соединений.	Усталостные трещины. Отклонения размеров. Износ поверхностей и ослабление посадки. Усталостные трещины.
Подшипники качения	Беговые дорожки. Тела качения. Сепараторы.	Усталостное выкрашивание, трещины, увеличение зазоров.

Работоспособное состояние механизма характеризуется следующими признаками: низким уровнем вибрации и шума; отсутствием ударных процессов; температурой корпуса не выше предельных значений; отсутствием подтеканий масла; отсутствием трещин в корпусных деталях, опорной раме и фундаменте.

Работоспособное состояние механизма обеспечивается: соосностью валов, выдержанной в допустимых пределах и выставленной с учетом рабочей температуры двигателя и механизма; постоянной или периодической смаз-

кой узлов механизма с оптимальными характеристиками смазочного материала; уровнем рабочих нагрузок, не превышающем допустимого значения; равномерной затяжкой резьбовых соединений; выполнением всех заданных функций; периодической смазкой зубчатых муфт, шарнирных соединений и заменой отработанной смазки; оптимальными значениями зазоров, находящихся в допустимых пределах и учитывающих тепловое расширение детали; оптимальными параметрами шероховатости рабочей поверхности; параллельным расположением валов на необходимом расстоянии.

Необходимым является: соблюдение параметров технологического процесса; высокая квалификация ремонтного персонала; применение специализированного инструмента при ремонте; своевременное использование методов технического диагностирования и прогнозирования отказов элементов оборудования.

Работоспособность подшипников качения характеризуется: отсутствием проворачивания колец подшипника на валу и в корпусе; отсутствием трещин в деталях подшипника; значениями зазоров в допустимых пределах; шероховатостью поверхности тел качения и беговых дорожек; качественным смазыванием.

Работоспособность зубчатых передач обеспечивается: необходимым размером пятна контакта; допустимыми значениями бокового зазора и размерами зубьев; шероховатостью поверхности зубчатых колес; отсутствием проскальзывания рабочих поверхностей; неподвижным соединением деталей с валом.

Работоспособность валов обеспечивается: прямолинейностью; правильным расположением; отсутствием износа посадочных поверхностей; целостностью шпоночных и шлицевых соединений.

Работоспособность муфт предполагает: целостность деталей; равномерность износа элементов в допустимых пределах; неподвижность соединений деталей, при необходимости — смазку.

В целом работоспособное состояние узлов и деталей определяется: отсутствием трещин; отсутствием повреждений сопрягаемых элементов; определенными параметрами шероховатости рабочих поверхностей; наличием оптимальных зазоров сопрягаемых деталей.

2.2. Шумы механизмов

Акустический шум и колебания механизмов давно используются для оценки технического состояния. В механических устройствах в качестве степени повреждений выступает зазор между деталями. Наличие зазора вызывает соударение деталей во время работы. Физическое проявление этого процесса реализуется в виде распространения упругих волн акустического диапазона, возникновения вибрации и ударных импульсов. Несмотря на единую физическую природу, каждое из этих проявлений имеет свои

особенности и по-разному отображает происходящие процессы. Поэтому целесообразно контролировать совокупность этих параметров.

Упругие волны, порождающие акустические колебания, имеют частотный диапазон 20...16000 Гц и легко распространяются по корпусным деталям механизма. Вследствие этого прослушивание акустических шумов, возникающих при работе механизма, наиболее распространенный метод определения состояния работающего оборудования. Для этого используется технический стетоскоп, состоящий из металлической трубки и деревянного наушника (рис. 2.3). Один конец инструмента прижимается к корпусу подшипника, а наушник — к уху. Этот метод настолько доказал свою надежность, что требования по прослушиванию шумов механизмов включены во все правила технического обслуживания и инструкции по эксплуатации оборудования. Наиболее эффективным является сочетание полученной качественной картины технического состояния с количественной оценкой параметров вибрации. Это позволяет соединить субъективное мнение с объективной информацией, что обеспечивает достаточную точность при постановке диагноза.

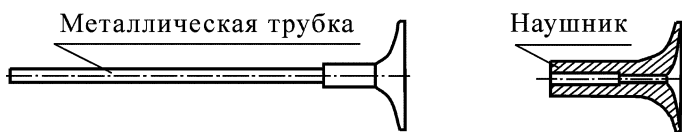


Рис. 2.3. Технический стетоскоп

Сейчас при прослушивании шумов используют электронные стетоскопы (рис. 2.4). Щуп прибора устанавливается на корпусе механизма. Электрический сигнал, снимаемый с пьезоэлектрического датчика, подаётся на усилитель звуковой частоты, а затем в наушники. По частоте и силе звука судят о наличии повреждений в контролируемом механизме и об их характере. В любом случае, наиболее сложной задачей является процесс распознавания шумов и определения видов дефектов. Этот процесс трудно формализовать. Многое зависит от квалификации и опыта человека, использующего этот метод. Основные достоинства метода: получение качественной информации о техническом состоянии механизма,



Рис. 2.4. Электронный стетоскоп

непосредственное включение оператора в процесс принятия решения, практическое отсутствие ошибок при обнаружении дефектов.

Сигналы, возбуждаемые колебаниями работающих механизмов, носят импульсный характер. Увеличение зазора между сопрягаемыми деталями приводит к перераспределению энергии по частотным диапазонам, повышению уровня сигнала на более высоких частотах. Амплитуда колебаний характеризует динамику работы кинематической пары, а также размер дефекта, частота — источник колебаний.

Решение задачи распознавания шумов и видов повреждений основывается на знании характерных шумов элементов механизма.

Граф причинно-следственных связей шумов и повреждений механизма приведен на рис. 2.5. Виды повреждений приведены в нижней части графа, выше указаны характерные шумы, определяющие данный диагностический признак.

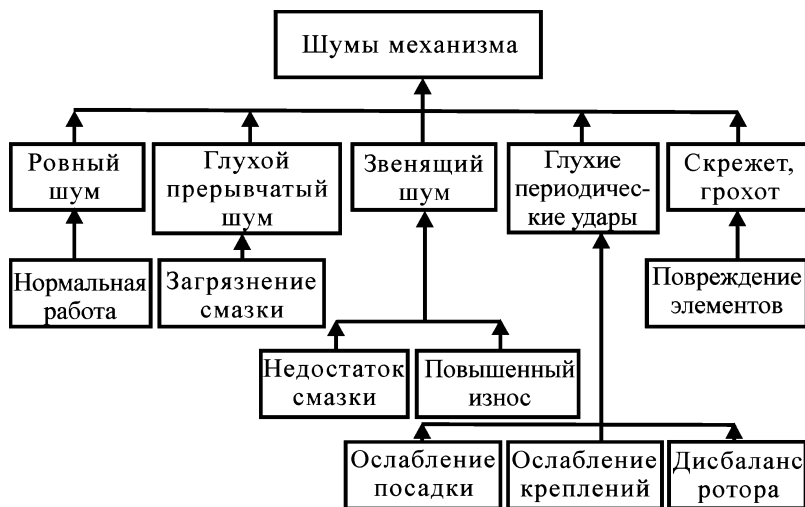


Рис. 2.5. Граф причинно-следственных связей шумов и повреждений механизма

Характерные шумы подшипников качения

1. Незначительный ровный шум низкого тона свидетельствует о нормальном состоянии подшипника качения.
2. Глухой прерывистый шум — загрязнённость смазки.
3. Звонящий (металлический) шум — недостаточная смазка, возникает также при повышенном радиальном зазоре.
4. Свистящий шум указывает на взаимное трение скольжения деталей подшипникового узла.

5. Скрежет, резкое частое постукивание возникают при повреждении сепаратора или тел качения.

6. Глухие периодические удары — результат ослабления посадки подшипника, дисбаланса ротора.

7. Воющий звук, скрежетание, гремющий шум, интенсивный стук указывают на повреждение элементов подшипника.

Шумы зубчатых передач

1. Ровный жужжащий шум низкого тона характерен для нормальной работы зубчатой передачи. Косозубая передача в этом случае имеет ровный воющий шум низкого тона.

2. Шум высокого тона, переходящий с увеличением частоты вращения в свист и вой, и непрерывный стук в зацеплении происходят при искажении формы работающих поверхностей зубьев или при наличии на них местных дефектов.

3. Дребезжащий металлический шум, сопровождающийся вибрацией корпуса, возможен вследствие малого бокового зазора или несоосности колёс, при износе посадочных мест редуктора.

4. Циклический (периодический) шум, появляющийся с каждым оборотом колеса, то ослабевающий, то усиливающийся, указывает на эксцентричное расположение зубьев относительно оси вращения. Устранить такой шум в редукторе практически невозможно.

5. Циклические удары, грохот, глухой стук — излом зуба.

Муфты, шпоночные и шлицевые соединения

Глухие толчки при изменении направления вращения соответствуют износу: шпоночных или шлицевых соединений, элементов муфт, повышенному зазору в зубчатой передаче.

Слабые стуки низкого тона, резкий металлический звук соответствуют сколам шлицов, ослаблению шпоночного соединения, несоосности соединительных муфт. Частые резкие удары соответствуют биениям муфты, неправильной сборке карданных валов.

Шумы, характерные для подшипников скольжения:

1) нормальной работе соответствует монотонный и шелестящий шум;
2) отсутствию смазки соответствует свист высокого тона, скрежет;
3) задирам на поверхности подшипников скольжения, несоосности валов и выкрашиванию соответствуют периодические удары, резкое металлическое постукивание.

При смазке кольцом: 1) отсутствию смазки соответствует звенящий металлический шум; 2) повышенной вязкости масла соответствуют циклические удары низкого тона.

Дополнительные рекомендации

Звон металлических деталей при ударе, например, молотком, используется для определения наличия дефектов. Звук, издаваемый стальной деталью, содержащей дефект — дребезжащий, более низкий и глухой по сравнению со звуком бездефектной детали, имеющей чистый, высокий звук. Данный метод достаточно эффективен применительно к контролю затяжки резьбовых соединений, целостности деталей простой формы. В более сложных случаях его использование ограничено.

Каждый механизм содержит две причины шумов: механического характера, электрического характера. Воющий звук, исчезающий при отключении питания электродвигателя, указывает на повреждения в электрической части мотора.

Степень повреждения определяется интенсивностью шума. Шум, вызывающий болевые ощущения при прослушивании техническим стетоскопом, является пределом эксплуатации деталей. Использование электронного стетоскопа предполагает сравнение интенсивности шума однотипных элементов.

Указанные виды шумов в истинном виде проявляются редко. Акустическая картина механизма составляется из совокупности шумов всех элементов, определяется размерами, характером смазывания, нагрузками, температурой и другими факторами. Поэтому приведенная классификация служит исходной информацией при расшифровке конкретной акустической картины механизма. Качество расшифровки и правильность постановки диагноза зависят от квалификации, подготовленности и опыта механика.

2.3. Вибрация механизмов

Наиболее информативным методом получения данных о техническом состоянии механического оборудования в настоящее время является анализ параметров вибрационного сигнала. Для решения различного уровня практических и исследовательских задач используются: анализ шумов механизмов, измерение общего уровня вибрации, измерение параметров вибрации, анализ спектра вибрационного сигнала и анализ временных реализаций [8].

Предварительно рассмотрим природу возникновения механических колебаний на примере одномассовой системы (рис. 2.6). Параметрами данной системы являются: масса — m , жесткость — c , коэффициент демпфирования — h . Колебания системы возможны при воздействии силы — F , переменной относительно направления колебаний. Сила F может быть и постоянной, однако параметры контактирующих поверхностей могут служить причиной ее периодического изменения. Например, сила тяжести при взаимодействии с изношенной поверхностью подшипника при вращении вала служит источником колебаний. Частотная характеристика колебаний укажет на характер повреждения.

Параметры колебательного процесса определяются следующим уравнением, в котором k — частота собственных колебаний системы, ε — параметр, определяющий демпфирующие свойства системы:

$$m \cdot \ddot{x} + h \cdot \dot{x} + c \cdot x = F;$$

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}}; \quad \varepsilon = \frac{h}{2m}.$$

Повреждения в механической системе могут приводить к изменению жесткости (например, износ деталей, ослабление резьбовых соединений), изменению коэффициента демпфирования (в случае появления трещин), изменению действующих сил (при изменении шероховатости контактирующих поверхностей).

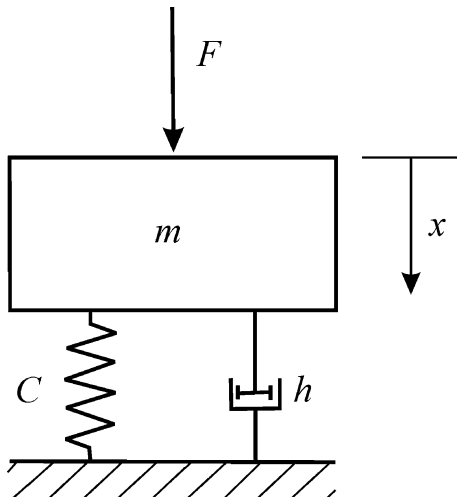


Рис. 2.6. Одномассовая система

Вибрационные процессы можно разделить на стационарные — определённые во времени и нестационарные — не определённые во времени. **Стационарные процессы** могут быть периодическими, гармоническими или полигармоническими и непериодическими — почти периодическими, переходными, а также случайными. **Периодические колебания** — колебания, при которых каждое значение колеблющейся величины повторяется через равные интервалы времени. Простейший периодический сигнал — гармоническое колебание.

Гармонические колебания — колебания, при которых значения колеблющейся величины изменяются во времени по закону синуса или косинуса (рис. 2.7):

$$S(t) = A \times \sin(\omega t + \varphi),$$

где A — амплитуда колебаний; φ — начальная фаза колебаний; ω — угловая скорость.

При гармонических колебаниях: $A, \omega, \varphi = \text{const}$. При почти гармонических колебаниях: A, ω, φ — медленно меняющиеся функции времени, некоторые из них могут быть постоянными, некоторые возрастающими или убывающими. Например, амплитуда, угловая скорость при запуске либо при остановке механизма.

Полигармонические колебания могут быть представлены в виде суммы двух или более гармонических колебаний (гармоник), частоты гармоник кратны основной частоте (рис. 2.8).

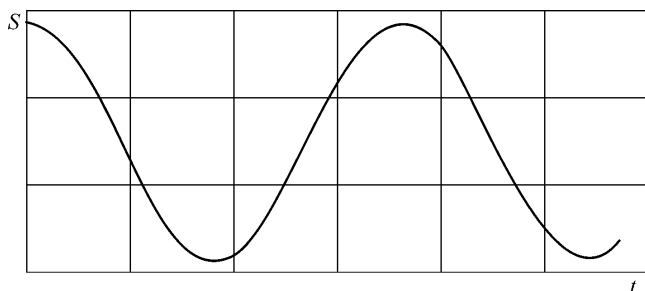


Рис. 2.7. Гармонический колебательный процесс

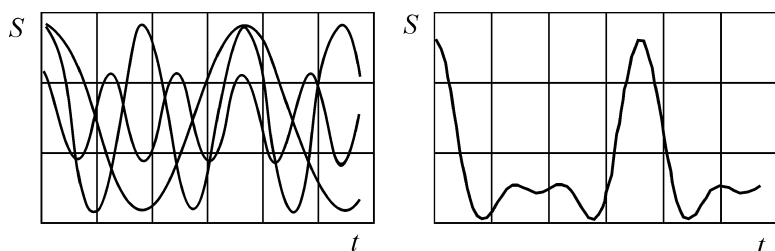


Рис. 2.8. Полигармонический колебательный процесс

Случайные процессы непредсказуемы по своим параметрам (частоте, амплитуде), но сохраняют свои статистические характеристики (среднее значение, дисперсию) на протяжении всего процесса наблюдения. Например: кавитация в проточной части насоса, шум работающего двигателя.

Нестационарные процессы разделяются на непрерывные и кратковременные. Это процессы, вероятностные характеристики которых являются функциями времени. Например: ударные процессы, проявление повреждений, трещин в процессе работы.

Вибрацию классифицируют: по природе (механическая, аэрогидродинамическая, электромагнитная, электродинамическая); по конструктивному узлу (роторная, лопаточная, подшипниковая, зубчатая).

Параметры периодических колебаний

1. Частота вибраций

$$f = 1/T \text{ (Гц)},$$

где T — период (время полного цикла колебаний), с; $\omega = 2\pi f$ — угловая скорость. Позволяет идентифицировать источник вибрации, повреждения.

2. Виброперемещение S (мкм) — составляющая перемещения, описывающая вибрацию. Виброперемещение как диагностический параметр представляет интерес в тех случаях, когда необходимо знать относительное смещение элементов объекта или деформацию.

3. Виброскорость V (мм/с) — производная виброперемещения по времени. Виброскорость используют при определении технического состояния машин при измерении общего уровня вибрации. Этот параметр связывают с энергией механических колебаний, направленной на разрушение деталей.

4. Виброускорение a (м/с²) — производная виброскорости по времени. Виброускорение используют при определении степени повреждения и силы ударов в подшипниках качения и зубчатых передачах.

Взаимосвязь колебательных величин при гармонических процессах:

$$V = 2\pi \times f \times S \times 10^{-3} = a \times 10^3 / (2\pi \times f);$$

$$S = V \times 10^3 / 2\pi \times f = a \times 10^6 / (2\pi \times f)^2;$$

$$a = (2\pi \times f)^2 \times S \times 10^{-6} = 2\pi \times f \times V \times 10^{-3}.$$

Основные характеристики колебательных, вибрационных процессов

Размах колебаний — разность между наибольшим и наименьшим значениями колеблющейся величины в рассматриваемом интервале времени (двойная амплитуда).

Пиковое значение — определяется как наибольшее отклонение колебательной величины от среднего положения.

Среднеарифметическое мгновенных значений вибрации характеризует общую интенсивность вибрации.

Среднее квадратичное значение — квадратный корень из среднего арифметического или среднего интегрального значения квадрата колеблющейся величины в рассматриваемом периоде времени.

Коэффициент амплитуды, или пикфактор — отношение пикового значения к среднеквадратичному значению измеряемого параметра.

Измерения виброперемещения (пиковое или амплитудное, размах колебаний) проводят в низкочастотном диапазоне 2...400 Гц. Ориентировочные значения виброперемещения указаны в табл. 2.2.

Измерение общего уровня вибрации

При определении значений общего уровня вибрации проводят измерение среднеквадратичного значения виброскорости в частотном диапазоне 10...1000 Гц. Это соответствует требованиям стандарта ИСО 10816. Регламентируется проведение измерений в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтальном и осевом. При нормальной работе горизонтальная составляющая имеет максимальное, а осевая — минимальное значение. Виброскорость — для большего количества механизмов не должна превышать 4,5 мм/с.

Таблица 2.2

Значения виброперемещения и техническое состояние

Частота вращения, мин ⁻¹	Амплитуда виброперемещения, мкм				
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Требуется исправления	Опасно
300	0...27	27...70	70...140	140...260	> 260
500	0...25	25...60	60...125	125...240	> 240
600	0...22	22...56	56...118	118...230	> 230
1000	0...18	18...45	45...100	100...200	> 200
1500	0...15	15...40	40...85	85...170	> 170

Значения виброскорости, определяющие границы состояний: до 4,5 мм/с — удовлетворительное; 4,5...10,0 мм/с — плохое; свыше 10,0 мм/с — аварийное. Значения приведены для работы под нагрузкой.

Для оценки состояния подшипников качения проводят измерения пикового и среднеквадратичного значений виброускорения в частотном диапазоне 10...4000 Гц. В общем случае: 1) хорошее состояние характеризуется значением пикового значения виброускорения — до 10,0 м/с²; 2) удовлетворительное состояние — среднеквадратичное значение не превышает 10,0 м/с²; 3) плохое состояние наступает при превышении 10,0 м/с² среднеквадратичного значения; 4) если пиковое значение превышает 100,0 м/с² — состояние становится аварийным. Одним из признаков наличия значительных повреждений является присутствие в спектре виброускорения составляющих со значениями свыше 9,8 м/с².

2.4. Контроль температуры механизмов

Среди существующих методов технического диагностирования машин и механизмов тепловые методы занимают особое положение, так как до 95 % всех форм энергии, создаваемой и передаваемой машинами прямо или частично, превращается в тепловую энергию. Параметром теплового диагностирования является температура, отражающая протекание рабочего процесса и развитие целого ряда неисправностей.

Физические основы термометрии

Температура — физическая величина, определяемая как параметр состояния термодинамического равновесия микроскопических систем. Термодинамическая температура всегда положительна и измеряется при помощи термодинамической шкалы, единицей которой служит 1 Кельвин (°К). С общепринятой шкалой Цельсия она связана соотношением

$$T = t + 273,15^{\circ}\text{К},$$

где t — температура по шкале Цельсия. Цена деления шкалы Кельвина и Цельсия — одна ($1^\circ\text{K} = 1^\circ\text{C}$); абсолютный ноль соответствует $t = -273,15^\circ\text{C}$.

Температура — величина экстенсивная, измеряемая косвенным образом в результате преобразования в какую-либо интенсивную (непосредственно измеряемую) величину, например, электрический ток.

Методы измерения температуры принято делить на две большие группы — контактные и бесконтактные, которые подразделяются по физическим эффектам, положенным в основу принципа их действия.

Контактные методы термометрии

1. Жидкостные стеклянные термометры.
2. Манометрические термометры.
3. Дилатометрические и биметаллические термометры.
4. Термоэлектрические (термопарные) датчики.
5. Терморезисторные датчики.
6. Жидкокристаллические термоиндикаторы.
7. Плавающие термоиндикаторы существуют двух типов: плавкие покрытия и термосвидетели. Покрытия выпускают в виде термокарандашей, термолаков, термopорошков.

Бесконтактные методы термометрии

Действие пирометров излучения основано на фотоэлектрической, визуальной и фотографической регистрации интенсивности теплового излучения нагретых тел, пропорционального их температуре. Пирометры имеют объектив для фокусировки излучения, фотодетектор, светофильтры и блок электронной обработки сигнала. Калибровка пирометров проводится по эталонным источникам (абсолютно черное тело, пирометрические лампы).

1. Яркостными пирометрами измеряют спектральную яркость объекта на определенной длине волны, которая сравнивается с яркостью абсолютно черного тела (АЧТ). В качестве АЧТ используют спираль специальной лампы накаливания.

2. Цветовыми пирометрами измеряют интенсивности излучения объекта в двух узких зонах спектра, отношение которых сравнивается с соответствующим отношением для АЧТ. Показания цветковых пирометров не зависят от коэффициента излучения объектов.

3. Радиационные пирометры измеряют температуру слабонагретых тел ($-100...+100^\circ\text{C}$) и работают в широком спектральном диапазоне. В них используют оптические системы из материалов, прозрачных в инфракрасной области спектра.

4. Тепловизоры применяют для визуализации изображения нагретых тел и оценки их температуры в отдельных точках методами сканирующей пирометрии.

Диагностирование по тепловым параметрам

Температура нагрева корпусов механизмов как диагностический параметр имеет две особенности: появление некоторых видов неисправностей вызывает повышение температуры корпуса механизма; инерционность нагрева металлических деталей, корпусов и опор не позволяет использовать данный параметр для определения внезапных отказов и зарождающихся повреждений.

Правила технической эксплуатации регламентируют предельную температуру корпусов подшипников, которая не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 40°C и быть не выше $60...80^{\circ}\text{C}$.

Для механизмов, имеющих циркуляционную систему смазки или охлаждения, оценивают разницу температур масла или воды на выходе и входе. Это позволяет контролировать тепловые процессы, общее состояние оборудования, степень его ухудшения. Разница температур на выходе и входе не должна превышать $10...15^{\circ}\text{C}$.

При наличии постоянных нагрузок и скоростных режимов техническое состояние механизмов могут характеризовать закономерности изменения температур при запуске. Различают три временные фазы (рис. 2.9), соответствующие

неупорядоченному $\Delta T, ^{\circ}\text{C}$ нагреву А, регулярному тепловому режиму В и выходу на стационарный тепловой режим С.

Интенсивность нарастания температуры у неисправного механизма или узла будет выше, чем у исправного. Для информации об интенсивности нарастания температуры достаточно произвести два последовательных измерения: на начальном участке фазы теплового режима и спустя некоторое время. Допустимая интенсивность нагрева механизма в период выхода на стационарный тепловой режим — $0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Наружная сторона кисти руки выдерживает температуру $+60^{\circ}\text{C}$ в течение 10 с. Проверка температуры корпусов подшипников может прово-

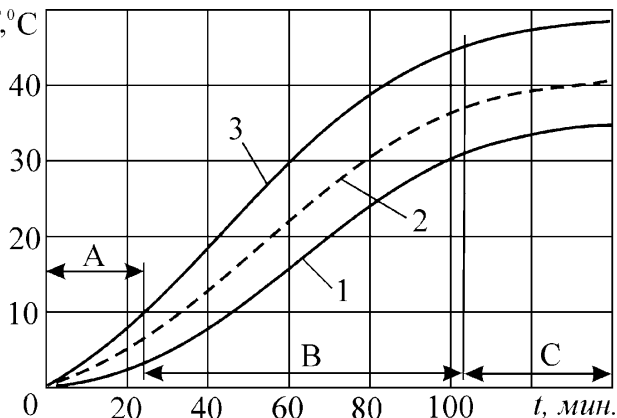


Рис. 2.9. Характерные режимы нагрева механизма:
1 — исправный механизм; 2 — предел исправности;
3 — неисправный механизм.

диться путем измерения скорости испарения нанесённых брызг воды на корпус подшипника, легкое испарение считается предельным ($+70^{\circ}\text{C}$).

Контроль температуры позволяет получить следующие диагностические параметры: 1) абсолютное значение в локальных точках; 2) разность температур масла или жидкости на выходе и входе; 3) интенсивность нарастания температуры при запуске; 4) определение цветов побежалости. Первые три параметра могут быть определены при эксплуатации механизма, а последний — при остановке на осмотр.

Основные причины, вызывающие повышение температуры, группируются следующим образом: 1) дефекты системы смазывания: недостаточное или избыточное количество смазки; загрязнение смазки; неверно выбран смазочный материал; 2) повреждения подшипников качения: износ или повреждение колец или тел качения; разрушение сепаратора; проворачивание подшипника на валу или в корпусе; 3) дефекты изготовления и сборки: отсутствие осевых зазоров; малый радиальный зазор; дефекты корпусных деталей; защемление наружного кольца подшипника; 4) дефекты регулировки: подшипник сильно зажат; перекос подшипника или вала; неправильное центрирование электродвигателя с приводом; 5) повреждения уплотнительных устройств; 6) повреждения системы охлаждения или смазки: недостаточная подача охлаждающей воды; высокая температура воды или масла на входе.

Визуальное проявление температурного воздействия

Степень нагрева детали или заготовки при термической обработке может быть определена по цвету каления. **Цвета каления** и соответствующие температуры ($^{\circ}\text{C}$) для стальных изделий: темно-коричневый, слабое свечение в темноте — 530...580; коричнево-красный — 580...650; темно-красный — 650...730; темно-вишнево-красный — 730...770; вишнево-красный — 770...800; светло-вишнево-красный — 800...830; светло-красный — 830...900; оранжевый — 900...1050; темно-желтый — 1050...1150; светло-желтый — 1150...1250; ярко-желтый — 1250...1300. Указанные цвета могут несколько изменяться по отношению к конкретным маркам сталей, однако характер изменения цветности остается неизменным.

Цвета побежалости предоставляют информацию о степени нагрева детали во время поломки, перед отпуском или о перегреве детали во время сборки. Цвета побежалости углеродистой стали не совпадают с цветами побежалости коррозионностойких и жаропрочных сталей. Это следует учитывать при различении соответствующей температуры (табл. 2.3).

Полнота сгорания топлива может быть определена по цвету и характеру пламени. Соломенно-желтый цвет факела при использовании твердого или жидкого топлива указывает на полное сгорание топлива. Если топливо газообразное, а цвет пламени прозрачно-голубой — это

Таблица 2.3

Цвета побежалостей сталей

Температура, °С	Цвет побежалости			
	Углеродистая сталь	12X18H9T	ХН75МВТЮ	ХН77ТЮР
220	Светло-желтый			
240	Темно-желтый			
255	Коричнево-желтый			
265	Коричнево-красный			
275	Пурпурно-красный			
285	Фиолетовый			
295	Васильково-синий			
300		Светло-соломенный		
315	Светло-синий			
330	Серый			
400		Соломенный	Светло-желтый	
500		Красно-коричневый	Желтый	Светло-соломенный
600		Фиолетово-синий	Коричневый	Фиолетовый
700		Синий	Синий	Синий
800			Голубой	Голубой

также свидетельствует о полноте сгорания топлива. Красный или желтый цвет пламени, иногда с дымными полосами — результат неполного сгорания топлива.

2.5. Неразрушающий контроль деталей

Методы неразрушающего контроля. Дефекты материала сопровождают деталь на протяжении всего периода существования. Они могут появиться: на стадии получения заготовки (дефекты литья, дефектыковки или прокатки); на стадии изготовления (дефекты обработки, закалки); на стадии эксплуатации (усталостные трещины, хрупкое и вязкое разрушение). При этом зачастую дефекты изготовления, не обнаруженные своевременно, реализуются на стадии эксплуатации, приводя к внезапным отказам, остановкам и простоям оборудования.

Многочисленными исследованиями установлено, что детали, подверженные циклическим нагрузкам, 90...97 % времени срока службы работают при наличии и развитии дефектов [9]. Даже хрупкое разрушение не происходит мгновенно, а занимает определенный промежуток времени с момента зарождения дефекта до полного разрушения.

Такое постепенное накопление повреждений в материале детали позволяет контролировать ее состояние, используя неразрушающие методы контроля. Использование этих методов позволяет не только обнаружить дефекты, но и оценить опасность повреждения, определить причину возникновения дефекта. Знание причины позволяет, изменив технологию производства, исключить возможность появления подобных дефектов.

Методы неразрушающего контроля обеспечивают нахождение дефектов в материале изделия (объекта) без разрушения путем взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля. В качестве объекта в неразрушающем контроле наиболее часто выступает деталь или соединение деталей (сварочный шов, покрытие, клеевое соединение). С точки зрения физических явлений выделяют девять основных видов неразрушающего контроля: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический, проникающими веществами.

Магнитный неразрушающий контроль основан на анализе взаимодействия магнитного поля с объектом контроля. Метод применяют для контроля объектов из ферромагнитных материалов. Свойства, которые требуется контролировать (химический состав, структура, наличие несплошностей и др.), обычно связаны с параметрами процесса намагничивания и петель гистерезиса.

Электрический неразрушающий контроль основан на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом (собственно электрический метод), или поля, возникающего в объекте контроля в результате внешнего воздействия (термоэлектрический и трибоэлектрический методы). Первичными информационными параметрами являются электрическая емкость или потенциал.

Вихретоковый неразрушающий контроль основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля. Метод применяют для контроля объектов из электропроводящих материалов. Вихревые токи возбуждаются в объекте преобразователем в виде индуктивной катушки, питаемой переменным или импульсным током. Приемным преобразователем (измерителем) служит та же или другая катушка. Возбуждающую и приемную катушки располагают либо с одной стороны, либо по разные стороны от объекта контроля.

Интенсивность и распределение вихревых токов в объекте зависят от его размеров, электрических и магнитных свойств материала, от наличия

в материале нарушений сплошности, взаимного расположения преобразователя и объекта контроля, т. е. от многих параметров.

Радиоволновой неразрушающий контроль основан на регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с объектом контроля. Обычно применяют волны сверхвысоко-частотного диапазона и контролируют изделия из материалов, где радиоволны не сильно затухают: диэлектрики (пластмассы, керамика, стекловолокно), магнитодиэлектрики (ферриты), полупроводники, тонкостенные металлические объекты. По характеру взаимодействия с объектом контроля различают методы прошедшего, отраженного, рассеянного излучения и резонансный.

Тепловой неразрушающий контроль основан на регистрации изменений тепловых или температурных полей объекта контроля. Метод применим к объектам из любых материалов. По характеру взаимодействия поля с объектом контроля различают методы: пассивный или собственного излучения (на объект не воздействуют внешним источником энергии) и активный (объект нагревают или охлаждают от внешнего источника). Измеряемым информационным параметром служит температура или тепловой поток.

Оптический неразрушающий контроль основан на наблюдении или регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с объектом контроля. По характеру взаимодействия различают методы прошедшего, отраженного, рассеянного и индуцированного излучения.

Оптические методы имеют широкое применение благодаря большому разнообразию способов получения первичной информации. Возможность их применения для наружного контроля не зависит от материала объекта. Самым простым методом является органолептический визуальный контроль, с помощью которого находят видимые дефекты, отклонения от заданных форм, цвета и т. д.

Радиационный неразрушающий контроль основан на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с объектом контроля. Наиболее широко используют для контроля рентгеновское и гамма-излучения

Акустический неразрушающий контроль основан на регистрации параметров упругих волн, возникающих или возбуждаемых в объекте. Чаще всего используют упругие волны ультразвукового диапазона (с частотой колебаний выше 20 кГц), этот метод называют ультразвуковым. В отличие от рассмотренных методов здесь применяют и регистрируют не электромагнитные, а упругие волны, параметры которых тесно связаны с такими свойствами материалов, как упругость, плотность, анизотропия (неравномерность свойств по различным направлениям) и др.

Контроль проникающими веществами основан на проникновении пробных веществ в полость дефектов объекта контроля. Различают методы ка-

пиллярные и течеискания. Капиллярные методы основаны на капиллярном проникновении в полость дефекта индикаторной жидкости (керосина, скипидара), хорошо смачивающей материал объекта. Их применяют для обнаружения слабо видимых невооруженным глазом поверхностных дефектов. Методы течеискания используют для выявления сквозных дефектов.

Визуальный контроль. Визуально обнаруживаются поверхностные дефекты — трещины, дефекты сваривания, концентраторы напряжения в виде острых зазубрин и рисок. Для выявления поверхностных трещин необходимо предварительно подготовить поверхность в месте предполагаемого повреждения, для чего поврежденные места необходимо зачистить и отполировать, затем осмотреть с лупой. Такой осмотр дает возможность выявлять наиболее крупные трещины с шириной раскрытия 20...50 мкм. Результаты обзора — субъективные, поскольку зависят от индивидуальных особенностей оператора и его физического состояния (степени усталости, внимательности, пунктуальности). Для облегчения обзора применяют зеркала, линзы, микроскопы, телескопы, прожекторы, бороскопы, фотоэлектрические системы, волоконную оптику.

Внешний вид трещины характеризует параметры и механику ее развития. Причины и обстоятельства отказов оборудования могут быть установлены при квалифицированном визуальном обзоре. Кроме того, может быть проведена оценка срока службы элемента и выданы рекомендации необходимости специальных ремонтных влияний и периодичности осмотров для раннего выявления трещин.

Методы неразрушающего контроля проникающими веществами предназначены для выявления поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, протяженности и ориентации на поверхности. Подробная методика проведения контроля капиллярными методами, применяемые материалы, классификация методов приведены в ГОСТ 18442-80.

Капиллярные методы делятся на люминесцентный и цветной. Особенность метода — выявление трещин, раковин, пор, имеющих свойства капиллярных трубок. Сущность цветного (хроматического) метода заключается в покрытии проверяемой поверхности проникающей жидкостью, высушивании поверхности и нанесении проявляющего покрытия. Проникающая жидкость просачивается из трещин и окрашивает проявляющее покрытие. Примерами реагентов для реализации метода могут служить: масло и известь, керосин и мел.

Использование флуоресцирующих, люминесцентных реагентов вместе с ультрафиолетовым освещением дает наилучший эффект при проявлении трещин. Проникающие красители при облучении ультрафиолетовыми лучами дают зеленое свечение, которое позволяет найти тонкие трещины (с раскрытием 1,0...10,0 мкм).

Для обнаружения поверхностных трещин применяется метод цветной дефектоскопии, который заключается в следующем. Поверхность контролируемой детали очищается, обезжиривается ацетоном или спиртом, протирается сухой чистой салфеткой и просушивается горячим воздухом. На очищенную контролируемую поверхность наносится кистью или аэрозолем проникающая жидкость (80 % керосина, 15 % трансформаторного масла, 5 % скипидара, дополнительно на каждый литр краски берут 15...20 г судана-3 или жирового оранжа, красного или черного цвета). После высыхания нанесенная проникающая жидкость при помощи масло-керосиновой смеси и салфеток удаляется с контролируемой поверхности. После этого на сухую поверхность наносится проявляющая жидкость (раствор мела в воде — белого цвета). Имеющиеся поверхностные дефекты проявляются в виде окрашенных полос и извилин (трещины), точек и расплывшихся пятен (поры, шлаковые включения). Чувствительность метода позволяет выявлять дефекты глубиной 10...30 мкм и более с минимальной шириной раскрытия 1...2 мкм. Дефекты, имеющие раскрытие более чем 0,3...0,5 мм, из-за интенсивного вымывания проникающей жидкости из устья дефекта надежно не выявляются. Такие дефекты следует выявлять визуальным осмотром.

2.6. Визуальный осмотр

Визуальный метод контроля за состоянием оборудования широко используется при проведении осмотров и ревизий машин и механизмов. Этот метод позволяет как прямым путем обнаружить неисправность, так и косвенным подтвердить наличие дефекта. Основные задачи, решаемые при визуальном осмотре: определение причин и характера разрушения и износа деталей по виду поверхности износа или излома; обнаружение трещин корпусных деталей, опор или оснований; контроль поступления смазочного материала, отсутствие подтеканий масла; контроль биений валов, муфт; контроль затяжки резьбовых соединений. Фактографические исследования излома рассматриваются как средство диагностики разрушенных деталей.

Необходимо отметить отсутствие приборов и средств, способных реализовать функции, выполняемые человеком при визуальном осмотре. Отличительной особенностью визуального осмотра являются трудности при формализации процесса и решении задачи распознавания. Обнаружение трещин корпусных деталей, опор или оснований возможно при достижении размеров трещин 50...100 мкм, видимых глазом. Данные трещины можно выявить методами неразрушающего контроля, но площадь исследуемой поверхности столь велика, что эти методы становятся экономически нецелесообразными.

Операции по контролю поступления смазки зависят от способа подачи смазочного материала к узлам механизма. Контролируется отсут-

ствие подтеканий масла — признака, определяющего избыток смазки, неисправности уплотнений или ослабления резьбовых соединений. Биения вала возникают при повреждениях подшипников, биения муфт свидетельствуют о повреждениях или неправильной центровке валов. Ослабление резьбовых соединений определяется по следам смещения крепежных элементов, наличию окиси железа в виде красного порошка, вибрарованию гаек и болтов.

К визуальным методам может быть отнесен и метод диагностирования редукторов по значению мертвого хода. При неподвижном выходном вале проворачивают входной, до выбора зазоров в зубчатых передачах, и по значению угла поворота входного вала судят о степени износа зубьев. Применимость метода визуального осмотра имеет широкие границы.

Увеличители и вспомогательное оборудование

Визуальный осмотр можно производить при небольшом увеличении ($\times 2$, $\times 4$, $\times 6$, $\times 10$) с использованием измерительных луп с фиксированным фокусным расстоянием и осветителем, переносных измерительных микроскопов с увеличением.

Общие сведения об интроскопии

Наиболее простым способом выявления неисправностей механического оборудования является визуальный осмотр, но в труднодоступных местах он затруднен. Разборка механизмов для осмотра требует значительных затрат средств и ресурсов. Для обнаружения повреждений в таких ситуациях применяют специальные оптические приборы — технические эндоскопы.

История технической эндоскопии включает несколько этапов. Первый этап — использование разнообразных зеркал, что позволяет расширить сектор, доступный для осмотра. Следующий этап — оптические конструкции, отражающие свет встроенной в тело прибора лампочки, улучшили условия осмотра. Современный период начался в 60-х годах с развитием оптико-волоконных технологий. Оптическое волокно позволило изготовить рабочую часть эндоскопа гибкой — это расширило возможности осмотра. Важным этапом стало появление источников света, обеспечивающих высокую степень освещенности (порядка 1000...2000 лк) исследуемых объектов [10]. В настоящее время широкое распространение находят системы получения и анализа изображения с использованием видеоцифровых компьютерных технологий. Появляется возможность анализа изображения при помощи экспертных систем.

Использование эндоскопов позволяет повысить эффективность ремонтных воздействий при общем снижении затрат. Данный прибор поможет избежать излишней разборки и замены узлов и деталей, позволяя оп-

ределить участки, где это необходимо. С помощью эндоскопа возможно получение предварительных сведений о времени и объеме требуемых работ. Совмещение эндоскопа с компьютером, фото- и видеоприборами дает возможность сохранить изображения для последующего анализа.

Особенности человеческого зрения

Необходимо отметить отсутствие приборов и средств, способных реализовать функции, выполняемые человеком при визуальном осмотре. Отличительной особенностью визуального осмотра являются трудности при формализации процесса и решении задачи распознавания.

Основным недостатком человеческого зрения является то, что при малой освещенности ему не помогают лучшие оптические приборы. Часто осмотр проводится в условиях худшей освещенности, чем при дневном свете. Человеческий глаз эффективно приспосабливается к различной освещенности: зрачок может так сузиться, что позволяет видеть в яркий солнечный день, или так расшириться, что позволяет видеть в практически темной комнате, где уровень освещенности примерно в миллион раз меньше. Глазу требуется от 10 до 15 минут для адаптации к изменению освещенности.

Предельный угол, различаемый человеческим глазом, равен 1'. На расстоянии наилучшего зрения (25 см) нормальный человеческий глаз способен различить две точки, отстоящие одна от другой на 0,07 мм. В условиях оптимального освещения при хорошей контрастности человек способен оценить размер порядка 40 мкм.

Общая информация о технических эндоскопах

Эндоскоп в переводе с греческого: *endon* — внутри и *skopeo* — рассматривать. Эндоскопы разделяются на гибкие и жесткие.

Основа эндоскопа — оптическая система, состоящая из рабочей части с оптическими волокнами или линзами, с помощью которых изображение передается от объекта к окуляру прибора. Чтобы сделать изображение видимым, изучаемый объект необходимо осветить. Для этого применяют осветительную систему — осветитель с источником света и световодный кабель для передачи света от осветителя к объекту.

Следует отметить субъективность восприятия зрительной информации. Человек видит то, что знает. Незнакомые, неопознанные предметы остаются вне поля зрения. Важнейшим вопросом является определение диагностических, различаемых особенностей осматриваемой поверхности. По отношению к металлическим деталям диагностические признаки — это цвет, форма, сплошность, шероховатость поверхности.

Основной областью применения эндоскопов является осмотр внутренних полостей механизмов: редукторов, трубопроводов, гидро- и пневмоцилиндров, двигателей внутреннего сгорания, турбин, компрессоров. Наибо-

лее часто диагностическими признаками деталей данных механизмов являются: трещины, задиры, следы схватывания поверхности, коррозия. Характеристики этих видов повреждений поверхности приведены ниже.

Трещины — это дефекты типа разрывов преимущественно двухмерного характера. Ограничивающие поверхности трещин часто располагаются перпендикулярно к поверхности детали. **Абразивный износ** — участки с повышенной шероховатостью вдоль направления действия абразива. **Цвета побежалости** — дефект поверхности в виде цветной окисной плёнки (от жёлтого до синевато-серого цвета). **Пятна ржавчины** — дефект поверхности в виде пятен или полос с рыхлой структурой окисной плёнки. **Вмятины** — дефект поверхности в виде произвольно расположенных углублений различной формы, образовавшихся вследствие повреждений и ударов поверхности. **Риска** — дефект поверхности в виде канавки без выступа кромок с закругленным или плоским дном, образовавшийся от царапания поверхности металла изношенной прокатной арматурой. Риски могут быть тонкими и широкими.

При трении и изнашивании возникает ряд явлений и процессов, повреждающих и разрушающих поверхности деталей. **Схватывание при трении** — явление местного соединения материалов сопряженных поверхностей вследствие взаимодействия молекулярных сил. **Перенос металла** — явление, состоящее в местном соединении материалов сопряженных поверхностей, последующем его отрыве и переходе материала на другую поверхность. **Заедание** — процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала. **Задир** — повреждение поверхности в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения. **Царапание** — образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при воздействии выступов твердого тела или твердых частиц с рабочей поверхностью детали. **Отслаивание** — отделение с поверхности трения материала в форме чешуек. **Выкрашивание** — отделение с поверхности трения материала, приводящее к образованию углублений на поверхности трения.

Жесткие эндоскопы (бороскопы) предназначены для визуального контроля узлов, к которым возможен прямолинейный доступ. Бороскоп состоит из оптической и осветительной системы (рис. 2.10). Визуальная система состоит из линзовой оптики, которая заключена в металлическую трубку. Осветительная система состоит из оптического волокна, которое расположено между наружной и внутренней металлическими трубками. Бороскопы характеризуются: диаметром рабочей части, длиной рабочей части, углом направления наблюдения и углом поля зрения.

Гибкие эндоскопы (фиброскопы, рис. 2.11) используют, когда невозможен прямой доступ к объекту или объект имеет сложную геометрию. В фиброскопах визуальная система и система передачи света состоят из во-

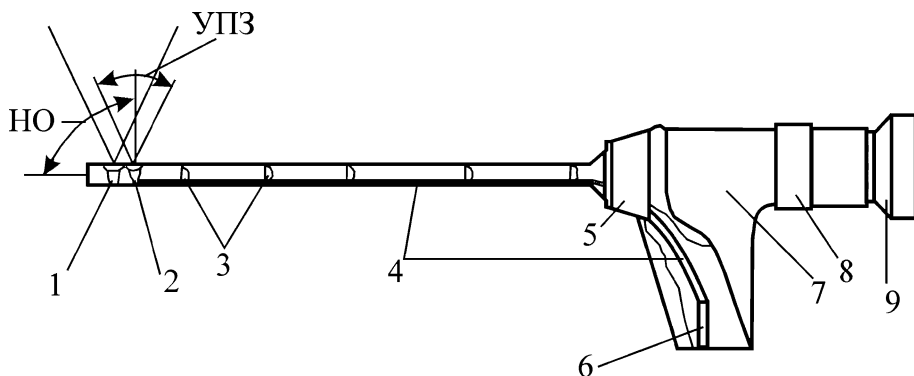


Рис. 2.10. Схема бороскопа:

УПЗ — угол поля зрения; НО — направление обзора; 1 — линза освещения; 2 — объектив; 3 — линзы; 4 — световод; 5 — система поворота смотровой трубки; 6 — подключение наконечника световода; 7 — окуляр; 8 — кольцо регулировки фокуса; 9 — кольцо регулирования остроты зрения

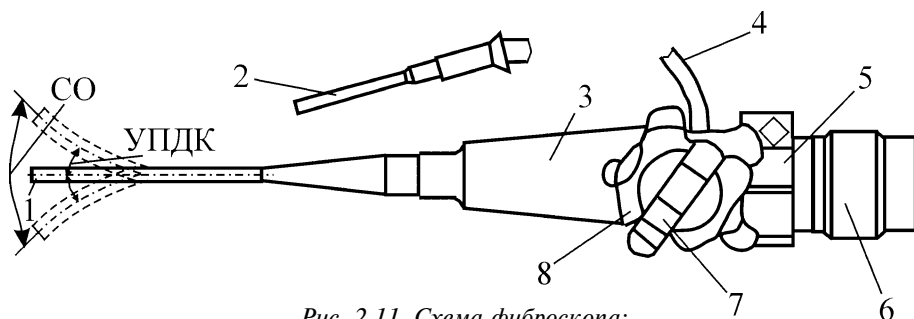


Рис. 2.11. Схема фиброскопа:

СО — сектор обзора; УПДК — угол поворота дистального конца; 1 — объектив-насадка; 2 — торец осветительного световода; 3 — окуляр; 4 — световод; 5 — кольцо регулировки фокуса; 6 — кольцо регулировки остроты зрения; 7 — управление поворотом дистального конца вправо и влево; 8 — управление поворотом дистального конца вверх и вниз

локонной оптики, расположенной внутри гибкой трубки. Оптический световод соединяет линзовый объектив и окуляр. Система подсветки включает светорассеивающую линзу, освещающую объект, световолоконный жгут и наконечник, подключающийся к осветителю.

Технические характеристики эндоскопов

Основные характеристики эндоскопов — диаметр и длина рабочей части. Для бороскопов длина может составлять до 300 диаметров. Максимальная длина бороскопа — 4200 мм. Фиброскопы могут иметь длину до

670 диаметров рабочей части. Стандартная длина фиброскопа обычно составляет 3 метра. При оформлении заказа на эндоскоп необходимо также указать: направление наблюдения — прямое, боковое, под углом; угол поля зрения — узкий 35°, нормальный 60°, расширенный 90°; угол поворота дистального конца — 60°, 90°, 120°; увеличение изображения — не более 6-кратного; глубину резкости — 10...100 мм при постоянной фокусировке и 6...∞ при регулируемой фокусировке; освещенность объекта осмотра — 1000...5000 лк; условия работы смотровых трубок — температуру, давление окружающей среды, возможность работы в агрессивных средах.

ВИДЫ ИЗНОСА И ПОЛОМОК ДЕТАЛЕЙ

3.1. Виды механического изнашивания

Механический износ — процесс постепенного разрушения поверхностей деталей при относительном движении. Для повышения надежности работы оборудования следует выявить условия возникновения отдельных видов изнашивания, механизм разрушения и внешний вид поверхности трения. Основная функция визуального осмотра трущихся поверхностей — определение вида изнашивания и постановка диагноза, позволяющая принять рациональные ремонтные воздействия, снижающие скорость износа.

Контактируемые поверхности деталей машин характеризуются микрорельефом, который в начальный момент работы узлов трения определяет площадь фактического контакта. В процессе эксплуатации под действием рабочих нагрузок и деформаций образуется рабочий рельеф, состоящий из впадин и выступов. Их размеры зависят от внутреннего строения материалов деталей и процессов пластической деформации. При относительном движении в поверхностных слоях контактируемых деталей возникают упругопластические деформации, вызывающие появление вторичных (физических, химических, механических) процессов. Профессор Б. И. Костецкий выделяет пять основных видов механического износа: износы схватыванием I и II рода, окислительный, осповидный и абразивный [11].

Износ схватыванием первого рода наблюдается при трении скольжения. Характеризуется возникновением адгезионных связей между деталями (рис. 3.1). Условия возникновения: малая скорость относительного движения (до 1 м/с для узла, состоящего из двух стальных деталей); высокое давление, превышающее предел текучести на площадках фактических контактов; отсутствие смазки или защитной пленки окислов между трущимися деталями; низкая температура нагрева поверхностных слоев — до 100°C.

Механизм разрушения определяется взаимодействием рабочих рельефов при давлениях, превыша-

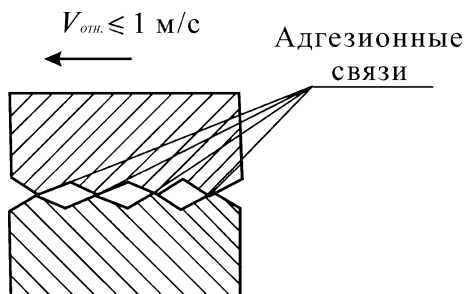


Рис. 3.1. Износ схватыванием первого рода

ющих предел текучести, сопровождается интенсивными пластическими деформациями, в результате которых разрушаются пленки окислов и вскрываются химически чистые металлические поверхности. Пластические деформации способствуют максимальному сближению деталей и образованию в поверхностных слоях текстур из предельно деформированных кристаллов, расположенных по направлению относительного смещения деталей. Если расстояния предельно малы и соизмеримы с размерами атомных решеток, то между ориентированными кристаллами двух деталей появляются металлические связи. Дальнейшее смещение деталей приводит к упрочнению металла в местах образования связей. При предельных значениях твердости и хрупкости металлические связи рвутся.

Проявление. На контактной поверхности детали из менее прочного материала образуются хаотически расположенные вырывы, а на детали из более прочного материала — налипания. Налипшие частицы высокой твердости способствуют развитию вторичных процессов местной пластической деформации и микрорезанию поверхностей трения. Скорость изнашивания деталей 10...15 мкм/ч. Силы трения определяются геометрическими характеристиками рабочих рельефов, площадью контактных поверхностей и прочностью металлических связей. Коэффициент трения чрезвычайно высок — 4...6 единиц.

Разрывы металлических связей могут привести к увеличению площади фактических контактов и уменьшению давления на поверхность трения. Если давления станут ниже предела текучести, то интенсивность пластических деформаций снизится, на деталях появятся устойчивые пленки окислов и износ схватыванием I рода перейдет в окислительный.

Окислительный износ развивается в условиях трения качения и трения скольжения со скоростями относительного движения деталей 1,5...7,0 м/с (без смазки). При граничной смазке интервал относительных скоростей увеличивается до 20 м/с.

Механизм разрушения поверхностей определяется взаимодействием материалов деталей с кислородом окружающей среды: насыщением металлов кислородом за счет химических реакций, проникновения кислорода в поверхностные слои деталей и растворением кислорода в поверхностных слоях. Тепловыделение при трении, способствующее диффузии из газовой или смазочной среды O_2 , S, P, Cl, вызывает образование твердых растворов и пленок окислов, защищающих исходные материалы сопряженных деталей от интенсивного износа. Эти процессы характерны для узлов трения, детали которых изготовлены из материалов с высокой твердостью и повышенным пределом текучести. Изнашивание поверхностей заключается в периодическом появлении и скалывании твердых и хрупких химических соединений (рис. 3.2), проявляющихся в виде окисных пленок.



Рис. 3.2. Окислительный износ

Проявление. Внешний вид деталей, работающих в условиях окислительного износа, характеризуется появлением матовых полос, состоящих из пленок оксидов, твердых растворов и химических соединений металла с кислородом. Это наиболее благоприятный вид изнашивания. Скорость изнашивания минимальна по сравнению с другими видами механического износа — $0,1 \dots 0,5$ мкм/ч. Коэффициент трения зависит от формы трущихся поверхностей и колеблется в пределах $0,3 \dots 0,7$ при отсутствии смазывания.

Износ схватыванием второго рода. Условия образования: трение скольжения, высокие давление и скорость относительного перемещения (свыше 4 м/с), сочетание которых обуславливает большие потери на трение, высокий градиент и интенсивное возрастание температуры в поверхностных слоях (до 1600°C).

Проявление. Различают три стадии износа схватыванием второго рода. Первая стадия соответствует для сталей интервалу температур до 600°C , мало снижающих механические свойства материалов. Внешний вид поверхности: вырывы частиц на детали из менее прочного материала, чередующиеся через примерно одинаковые промежутки. Вторая стадия износа развивается в интервале температур $600 \dots 1400^\circ\text{C}$. Такая температура заметно снижает механические свойства сталей, и металл размягчается. Внешний вид поверхности: на контактной поверхности более прочной детали видны налипания и размазывание металла, а на поверхности менее прочной детали — вырывы. Третьей стадии износа соответствуют температуры плавления. Расплавленные слои металла уносятся со

смазкой, и на поверхности трения появляются оплавленные бороздки (рис. 3.3). Скорость изнашивания составляет 1...5 мкм/ч. Коэффициент трения колеблется в пределах 0,1...0,5.

Осповидный износ возникает при трении качения, переменных или знакопеременных нагрузках и высоких давлениях, достигающих предела выносливости. Многократные нагружения вызывают усталость материала. На плоскостях максимальных напряжений внутри детали зарождаются трещины (рис. 3.4). Их развитие приводит к разрыву контактной поверхности, что принципиально изменяет характер взаимодействия деталей. Движение тел качения через разрыв поверхности сопровождается динамическими явлениями, в результате чего износ прогрессирует.

Проявление. В местах образования сколов на контактных поверхностях появляются осповидные углубления. Наиболее характерный вид изнашивания для деталей подшипников качения (рис. 3.5).

Абразивный износ развивается при трении скольжения. Условия возникновения: наличие на поверхностях трения абразивных частиц, деформирующих микрообъемы поверхностных слоев и вызывающих процессы микрорезания.

Проявление. На поверхностях трения появляются однозначно ориентированные по отношению к направлению движения риски различной глубины и протяженности (рис. 3.6). Скорость изнашивания колеблется в пределах 0,5...5,0 мкм/ч и зависит от размеров, формы, количества, свойств абразива и материалов деталей, от относительной скорости и давления на контактирующих поверхностях.

Эрозионное изнашивание. Твердые частицы, движущиеся в потоке газа или жидкости, оказывают на поверхность металла многократные локаль-



Рис. 3.3. Вид поверхности при износе схватыванием второго рода

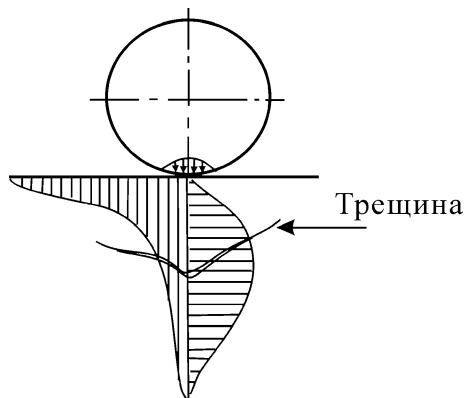


Рис. 3.4. Схема возникновения осповидного износа

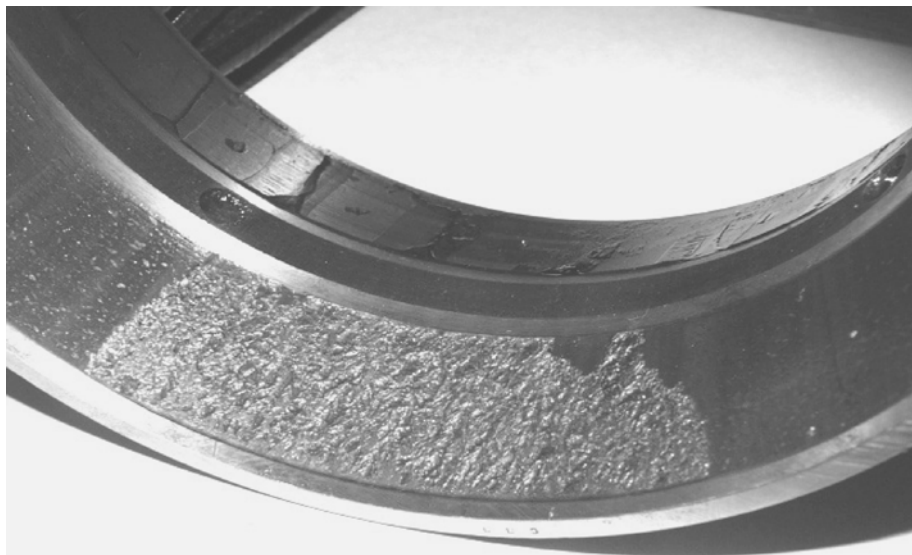


Рис. 3.5. Вид осповидного износа на поверхности наружного кольца подшипника

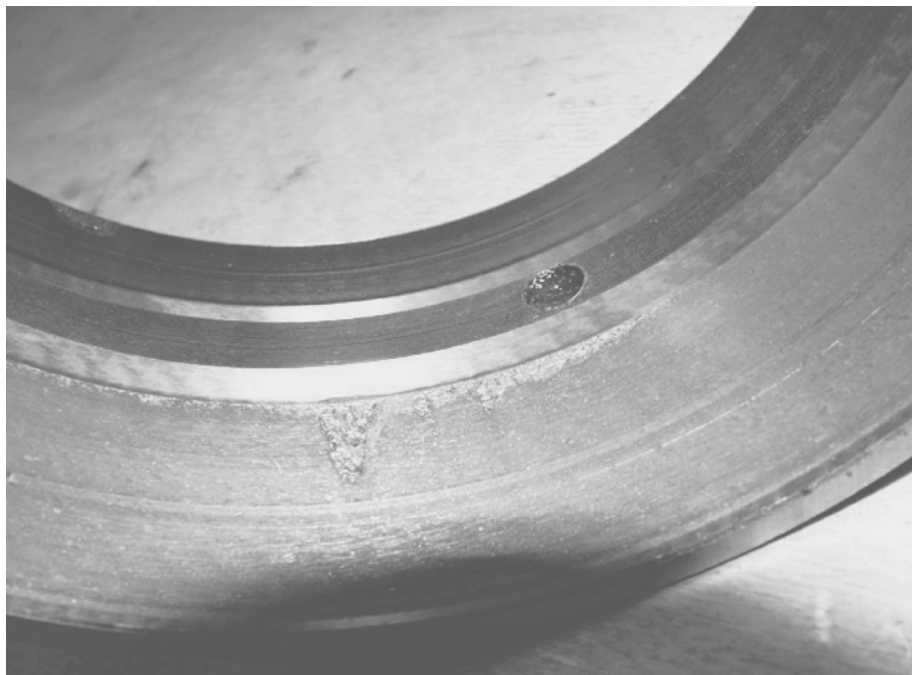


Рис. 3.6. Абразивный износ рабочей поверхности кольца подшипника

ные импульсные удары, вызывающие расшатывание и вымывание поверхностного слоя деталей — эрозию.

Электроэрозионное изнашивание — эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока. При электрической эрозии контактов происходит частичный перенос металла с одного контакта на другой и распыление металла.

Кавитационное изнашивание — гидроэрозионное изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости (и наоборот), при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, создавая тем самым местное повышение давления.

3.2. Способы повышения надежности

механического оборудования при механических видах износа

Механический износ — неизбежное явление в процессе эксплуатации металлургического оборудования. В зависимости от качества деталей, характера технологических нагрузок и окружающей среды изнашивание может иметь различные скорости. Механические виды износа классифицируют на желательные (скорость изнашивания минимальная) и нежелательные (скорость изнашивания выше минимальной). К желательным видам относится окислительный износ, все остальные (износы схватыванием I и II рода, осповидный, абразивный) — нежелательны [11].

Изучение причин выхода из строя деталей металлургического оборудования показывает, что в тонких поверхностных слоях развивается не один, а несколько различных процессов изнашивания, которые протекают с разными скоростями V_i . Один из процессов доминирует над другими, определяя скорость изнашивания деталей. Это позволяет сформулировать первое положение теории износа: вид износа детали определяется процессом, протекающим с максимальной скоростью.

Процесс, протекающий в поверхностных слоях деталей с максимальной скоростью, называется ведущим.

Устойчивое существование ведущего вида износа возможно в том случае, когда скорость изнашивания деталей V_H меньше скорости ведущего износа V_B . Для обеспечения высокой надежности металлургического оборудования необходимо, чтобы ведущим видом механического износа в узлах трения был окислительный, т. е. чтобы при условии $V_H < V_{OK}$ (V_{OK} — скорость окислительного износа) выполнялись неравенства:

$$V_1 < V_{OK}; V_2 < V_{OK}; V_3 < V_{OK}; V_4 < V_{OK}$$

где V_1, V_2, V_3, V_4 — скорость процессов изнашивания соответственно I рода, II рода, осповидного и абразивного.

Практически указанные неравенства можно обеспечить двумя путями: уменьшить скорость нежелательных видов износа или увеличить скорость окислительного износа.

Известны различные технологические способы, позволяющие уменьшить скорости нежелательных видов износа. Переход износа схватыванием I рода в окислительный описывается неравенством

$$V_1 < V_{OK},$$

устойчивое существование которого можно достигнуть уменьшением V , или увеличением V_{OK} . Условия возникновения износа схватыванием I рода характеризуются интенсивными пластическими деформациями, низкими относительными скоростями движения, отсутствием смазки или защитной пленки оксидов. Поэтому уменьшить V_1 можно такими технологическими способами, которые позволяют повысить предел текучести материалов и относительную скорость движения деталей, снизить давления на контактных поверхностях и улучшить смазку узлов трения.

Материал для изготовления деталей следует выбирать так, чтобы на поверхностях трения образовались прочные пленки оксидов, не разрушающиеся под действием рабочих нагрузок. Эти пленки резко снижают интенсивность явления схватывания. Предел текучести можно увеличить механическим упрочнением поверхностей (дробеструйная обработка, обкатка шариками и роликами), наплавкой твердыми сплавами, термической (объемная и поверхностная закалка), химико-термической (цементация, цианирование, азотирование, барирование) обработкой.

Существенное влияние на скорость изнашивания оказывает качество поверхностей трения, которое оценивается размерами, формой и направлением шероховатостей. Чем выше класс чистоты, тем больше реальная опорная поверхность деталей и ниже давление. Если фактические давления станут ниже предела текучести материалов, то явления схватывания прекратятся. Однако с повышением класса чистоты возрастает способность металлов к молекулярному сцеплению. Экспериментально доказано, что минимальный износ развивается при оптимальной шероховатости, которая устанавливается опытным путем для каждого узла трения.

Интенсивность явлений схватывания можно снизить, увеличив относительные скорости перемещения деталей ($V_{OTH} > 1$ м/с) или добавив к смазкам противонагрузочные присадки, основными компонентами которых являются соединения хлора, свинца, серы.

Второй путь устранения износа схватыванием I рода — повышение скоростей окислительных процессов V_{OK} . Для этого на трущиеся поверхности деталей наносят пленки, предотвращающие схватывание. Чтобы получить стойкие пленки химических соединений (сульфиды, хлориды, селениды), контактные поверхности подвергают термодиффузионной обработке.

Переход износа схватыванием II рода в окислительный описывается неравенством

$$V_2 < V_{OK}$$

Устойчивое существование неравенства в реальных узлах трения можно обеспечить уменьшением V_2 или увеличением V_{OK} . При первой стадии износа схватыванием II рода величину V_2 уменьшают такими же технологическими способами, как и при износе схватыванием I рода.

При второй и третьей стадиях необходимо повысить теплоустойчивость материалов и снизить количество теплоты, образующейся в зоне трения. Теплоустойчивость деталей возрастет, если изготовить их из сталей, легированных редкими элементами — вольфрамом, ванадием, титаном, или из различных твердых и металлокерамических сплавов на основе карбидов этих же элементов. К конструктивным средствам снижения температуры в поверхностных слоях относятся выбор рациональной формы деталей и использование системы воздушного или жидкостного охлаждения.

Износ схватыванием II рода можно предотвратить и эксплуатационными средствами, которые позволяют уменьшить работу сил трения. К ним относятся выбор рациональных режимов работы машин, совершенствование смазочных систем или добавление в смазочные материалы присадок, способствующих образованию на контактных поверхностях, не склонных к схватыванию, вторичных структур. Особенно эффективны присадки дисульфида молибдена, нитрида бора.

Чтобы устранить осповидный износ, следует выполнить следующее неравенство

$$V_3 < V_{OK}.$$

Развитие усталостных трещин не зависит от скорости окислительных процессов, поэтому осповидный износ переводят в окислительный только уменьшением величины V_3 . Используя такие технологические средства, как упрочняющая технология, выбор материалов и способов обработки, необходимо помнить, что их совокупность должна удовлетворять условию

$$\delta < \delta_1,$$

где δ — фактические давления; δ_1 — предел выносливости.

Если неравенство выполняется, то усталостного разрушения материалов не произойдет при любом числе циклов изменения рабочей нагрузки. Эффективно снижают осповидный износ конструктивные (стабильность прочностных характеристик материалов) и эксплуатационные (качественная сборка, работа оборудования в проектных режимах) средства.

Переход абразивного износа в окислительный описывается неравенством

$$V_4 < V_{OK}.$$

Скорость абразивных процессов V_4 не зависит от величины V_{OK} , поэтому выполнить неравенство можно, только уменьшив V_4 .

К конструктивным средствам, снижающим абразивный износ, относятся циркуляционные и проточные системы жидкой смазки, различного рода фильтры и приспособления, а к эксплуатационным — устранение источников пылеобразования в производственных зданиях, своевременная очистка и замена смазочных материалов, промывка поверхностей трения. Технологические средства (наплавка твердыми сплавами, применение специальных сталей, методов термической обработки и технологии поверхностного упрочнения) повышают сопротивляемость контактируемых деталей воздействию абразивных частиц.

После устранения нежелательных видов износа можно усилить надежность металлургического оборудования, уменьшив скорость окислительного износа (создание на поверхностях трения прочных вторичных структур).

3.3. Виды разрушений и изломов

В процессе эксплуатации механического оборудования происходят поломки, вызванные изломами деталей и приводящие в основном к аварийным остановкам. **Излом** — разрушение детали, вызванное низким качеством материала, дефектами изготовления, нарушением правил эксплуатации, случайными механическими повреждениями и другими факторами. Вид излома позволяет определить причины его возникновения. Различают следующие виды изломов в зависимости от признака классификации [12].

1. Характер силового воздействия: изломы кратковременного однократного статического и динамического нагружения; изломы длительного статического нагружения; изломы усталостного разрушения: типично-усталостные и коррозионно-усталостные.

2. Степень пластической деформации, протекающей в теле: хрупкий; квазихрупкий; вязкий.

3. Макрогеометрия и ориентация излома: плоский, плоский со сколами (чашечный), прямой, косой, сложной формы.

4. Вид и геометрия элементов поверхности разрушения: по блеску и цвету: матовый, блестящий, серый, черный, синий, цвета окалины; по характеру рельефа и степени шероховатости: кристаллический, волокнистый, фарфоровидный; наличие зональности: однородный, неоднородный.

5. Связь с элементами структуры материала: внутризеренный, межзеренный, межсубзеренный.

6. Скорость распространения трещины: хрупкий, вязкий, усталостный.

Наибольшее распространение получила классификация по характеру разрушения — хрупкое, вязкое и усталостное.

Вязкое разрушение сопровождается интенсивной пластической деформацией материала детали. Излом имеет волокнистое строение и, вследствие

сильной деформации зерен, не имеет кристаллического блеска. Неровные участки рассеивают свет и поверхность излома кажется матовой. Причиной образования является воздействие значительных кратковременных сил, возникающих при заклинивании механизма или нарушениях технологического режима. Вязкое разрушение имеет место и при длительном действии сил, вызывающих напряжения, превосходящие предел текучести материала детали. Признаком вязкого излома является наличие боковых скосов по его краю.

Если в процессе эксплуатации произошла поломка детали в нескольких местах, то надо знать, что первичные изломы (которые могли повлечь за собой все остальные поломки), как правило, не бывают вязкими. Вязкие первичные изломы встречаются при разрушении в редких случаях вследствие грубых ошибок, допущенных при расчете на прочность, монтаже (сборке) или эксплуатации. Относительно медленно развивающаяся вязкая трещина либо заблаговременно обнаруживается, либо из-за чрезмерной пластической деформации деталь еще до ее полного разрушения перестает выполнять свои функции. Полное разрушение происходит редко, пластические деформации обнаруживаются путем визуального осмотра заблаговременно.

Хрупкое разрушение происходит внезапно при однократном приложении силы или под действием повторных ударных сил при малой степени местной пластической деформации. Излом имеет ярко выраженное кристаллическое строение у недеформируемых материалов и гладкое от сдвига у мягких материалов. Кромки изломов гладкие, ровные без скосов или с небольшими скосами (рис. 3.7). Скос на хрупком изломе указывает место

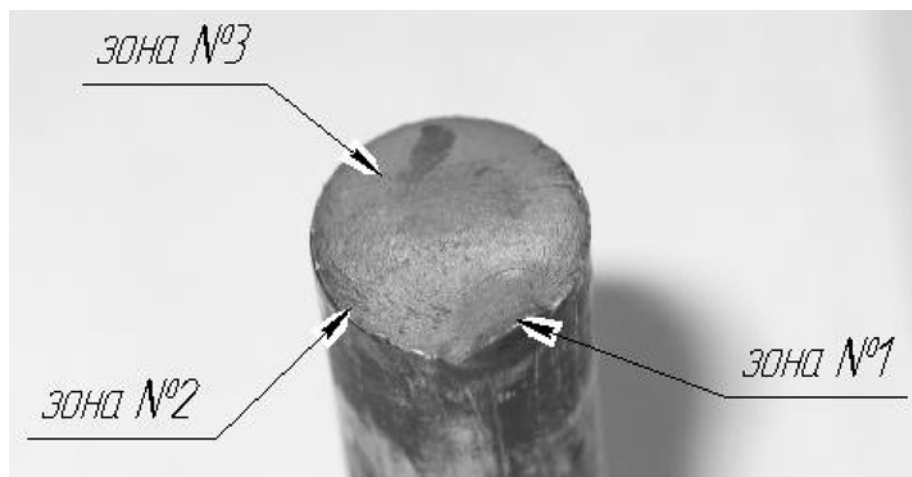


Рис. 3.7. Хрупкое разрушение детали

долома, т. е. окончание разрушения. Участок без скоса (или с меньшим скосом) обычно примыкает к фокусу излома.

Хрупкие разрушения в большинстве случаев начинают развиваться в зонах концентрации напряжений, в местах приварки элементов жесткости, пересечения сварных швов, у отверстий и галтелей, в зонах резкого изменения толщины. Очагами хрупких разрушений металлоконструкций часто являются дефекты сварки — горячие и холодные трещины, непровары, подрезы, шлаковые включения, поры, расслоения металла.

Усталостное разрушение является одним из основных видов повреждения от действия циклических нагрузок. Усталостные разрушения возникают в процессе постепенного накопления повреждений в материале деталей под действием переменных напряжений, которые приводят к образованию микротрещин, их развитию и окончательному разрушению детали.

При внезапных отказах оборудования основной причиной **является усталостный излом**. Определение условий возникновения усталостной перегрузки по виду излома является основным объективным методом анализа внезапных отказов оборудования и дает возможность предупреждать аналогичные отказы. Критериев такого анализа шесть: характер излома, глубина развития трещины усталости, степень и характер наклепа поверхности излома, число начальных очагов развития трещины, характер линии фронта трещины, число следов линии фронта трещины.

На усталостном изломе четко выделены: **зона усталостного разрушения**, имеющая мелкозернистое строение, с фарфоровидной или шлифованной поверхностью; **зона статического разрушения** — с волокнистым строением у пластичных металлов и крупнокристаллическим у хрупких. В общем виде на усталостном изломе различают четыре зоны: зарождения усталостных трещин, развития трещин (усталостного разрушения), переходную — ускоренного разрушения, окончательного, быстрого статического разрушения (рис. 3.8).

В. М. Гребеник [4] составил классификацию строения усталостных изломов при различных видах и характерах нагружения (см. рис. 3.9). На схемах показаны особенности зарождения трещин и характер продвижения линии фронта трещины (стрелками) в зависимости от вида и характера нагружения. Виды изломов в зависимости от характера нагрузки имеют свои особенности.

Растяжение вызывает локальную деформацию или «шейкообразование»; поверхность трещины формируется плоскостями разделения, наклоненными под углом 45° к направлениям нагрузки. Образуются изломы типа чашка — конус, характеризуются появлением во время разрушения в центральной части сечения начальной трещины, от которой в разные стороны расходятся более или менее четко выраженные рубцы (излом чашечкой). При термообработке меняется размер чашечки относительно всего

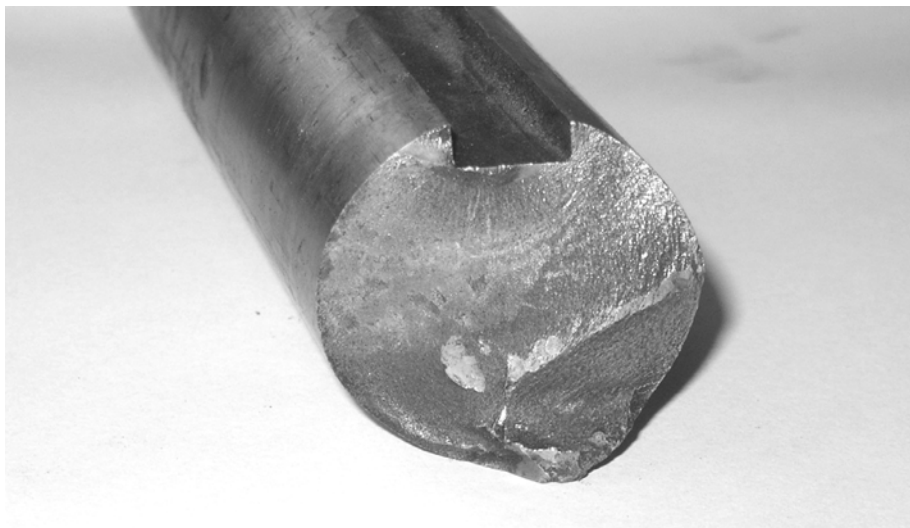


Рис. 3.8. Усталостный излом, возникший при вращении, при умеренных напряжениях и естественном локальном концентратором — шпоночным пазом

сечения детали. При этом с повышением твердости, размер дна чашечки увеличится.













Сдвиг (срез). Можно выделить два вида разрушений при сдвиге: срез бруса и изгиб (коробление). При срезе бруса две половины трещины скользят одна по другой, поверхность подвергается трению, в результате чего трещина заглаживается или происходит задира поверхности. Направление задира показывает направление приложения силы среза.

Кручение — это форма сдвига. Две половины разрушенного металлического образца сохраняют некоторый остаточный изгиб. Поверхность трещины часто имеет вид такой же, как и при растяжении, и наклонена под углом скручивания.

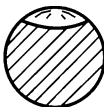
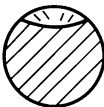

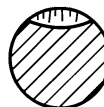








Изгиб. Моменту изгиба, приложенному к материалу, оказывают сопротивление растягивающие и сжимающие напряжения самого материала. Разрушение материала при этом аналогично образованию трещин при растяжении с внешней стороны изгиба и сжатии с внутренней стороны изгиба.

Сжатие. Отказы из-за сжатия происходит в двух основных формах: сжатие бруса и изгиб (выпучивание).

Во время очистки и осмотра излома необходимо соблюдать следующие правила: не следует удалять с поверхности излома неплотно прилегающие фрагменты; не пытаться сложить вместе части разрушенной детали; не протирать излом ветошью и щетками. Если излом не покрыт слоем смазки и

Вид концентратора	Вид нагружения			
	Растяжение	Односторонний изгиб	Двусторонний изгиб	Изгиб при вращении
А				
Б				
В				

а)

Вид концентратора	Вид нагружения			
	Растяжение	Односторонний изгиб	Двусторонний изгиб	Изгиб при вращении
А				
Б				
В				

б)

Рис. 3.9. Строение усталостных изломов в зависимости от вида и характера разрушения: а) при умеренных напряжениях; б) при высоких напряжениях

грязи, то лучше его рассмотреть, не промывая. Необходимо осмотреть две части поломавшейся детали. Очистка излома проводится обдувкой сухим воздухом с последующим погружением в очищенный бензин, а для удаления ржавчины — в соляную кислоту.

Дефекты закалки стали. Если изделие не было нагрето до необходимой температуры, то поверхность излома волокнистая, похожая на поверхность незакаленной стали. Напильник оставляет заметный след на детали.

Изделие было нагрето до более высокой температуры, чем требовалось для закалки — поверхность излома неравномерная по зернистости от мелко- до крупнозернистой, иногда искристая.

Изделие было нагрето до чрезмерно высокой температуры и находилось при этой температуре продолжительное время — излом крупнозернистый до крупнокристаллического, с сильным белым блеском.

Изделие было нагрето слишком быстро и неравномерно — излом неоднородный; местами незакаленные и хорошо закаленные зерна; на ребрах и тонких частях наблюдаются пережженные зерна.

Изделие прошло закалку в соответствии с необходимой технологией — закаленный слой мелкозернистый, равномерный.

3.4. Последовательность осмотра изношенных деталей, характерные признаки и причины повреждений

Установление причины разрушения или отказа — ответственный этап в работе ремонтных служб, позволяющий определить мероприятия по повышению безотказности механизма. Внешние признаки разрушения деталей всегда оставляют характерные следы, по которым можно определить причину повреждения. Знание причины позволяет установить необходимые воздействия для предотвращения аналогичных отказов.

Последовательность выяснения причины отказа, поломки начинается с осмотра разрушенной детали. При этом следует соблюдать такую последовательность операций:

1. Осмотреть наружный вид разрушенного механизма, отметив целостность и характер разрушения корпусных и соединительных деталей.

2. Провести частичную разборку механизма с целью освободить разрушенный узел.

3. Осмотреть рядом расположенные детали и узлы, отметив наличие или отсутствие разрушений и повреждений.

4. Доставить отказавший узел в мастерскую и разобрать его.

5. Определить условия работы машины, предшествующие отказу.

6. Зафиксировать наработку отказавшей детали.

7. Установить характер (вид) разрушения.

8. Осмотреть разрушенную деталь, проанализировав схему напряженного состояния и последовательность разрушения.

Виды осмотров

По назначению осмотры разделяются на следующие виды: эксплуатационный; специализированный; экспертный (технический осмотр). Виды осмотров отличаются друг от друга объемом обследования, формой регистрации и назначением результатов.

Задачей **эксплуатационного осмотра** является выявление повреждений (дефектов) и поиск неисправностей оборудования при проведении технического обслуживания в сроки, регламентированные эксплуатационной документацией, и регистрация результатов осмотров в эксплуатационной документации. Проводится эксплуатационным персоналом при проведении технического обслуживания.

Специализированный осмотр проводится в объемах, определяемых документацией по техническому диагностированию. Основной задачей является определение технического состояния оборудования для планирования сроков технического обслуживания, ремонта оборудования, поиска неисправностей. Выполняется специалистами ремонтных служб предприятия или специализированных предприятий во время ревизий и наладок оборудования.

Технический (экспертный) осмотр проводится представителями уполномоченных или специализированных (экспертных) организаций. Срок и объем осмотра определен нормативно-правовыми актами по охране труда или организационно-методическими документами по проведению экспертного обследования. Задачей является определение соответствия технического состояния, качества монтажа, ремонта, модернизации и условий эксплуатации оборудования требованиям безопасности с целью определения возможности дальнейшей эксплуатации.

Последовательность осмотра

Порядок проведения осмотров оборудования основывается на последовательном обследовании элементов оборудования по кинематической цепи их нагружения, начиная от привода до исполнительного элемента. Для этого изучается конструкция оборудования, состав и взаимодействие элементов. Осмотр начинается с опорных элементов оборудования. При обнаружении дефектов на опорных деталях, следует ожидать их наличия и на других элементах оборудования. Такими элементами являются подшипниковые опоры и их крепление к фундаменту.

Технологические особенности осмотра

Процесс осмотра, как и все технологические операции, имеет три стадии: подготовительную, рабочую и завершающую.

Подготовительная стадия осмотра включает в себя: разработку последовательности осмотра; предварительный обзор места установки оборудо-

вания; опрос эксплуатационного персонала, при необходимости представителей монтажных, наладочных организаций, участвующих в проведении работ, о ранее обнаруженных неисправностях, проведенных заменах деталей; подготовку технических средств и регистрационных форм, инструктаж лиц, участвующих при производстве работ.

Рабочая стадия — выполнение заранее разработанного алгоритма детального осмотра элементов оборудования. Вначале проводится общий внешний осмотр оборудования и окружающих его объектов.

В процессе **предварительного обзора** специалист бегло знакомится с местом установки оборудования. При **общем осмотре** изучается картина состояния оборудования, применяется при периодических осмотрах оборудования эксплуатационным персоналом.

Детальный осмотр — осмотр конкретных элементов оборудования. Детальному осмотру должен предшествовать общий осмотр.

Общий и детальный осмотр может проводиться при **статическом** и **динамическом** режимах работы оборудования. При статическом режиме элементы оборудования осматриваются в неподвижном состоянии. Осмотр оборудования при динамическом режиме производится на рабочей нагрузке, холостом ходу и тестовых нагружениях (испытаниях).

Осмотр оборудования при включении или остановке механизма ориентируется в основном на контроль качества затяжки резьбовых соединений, отсутствие трещин корпусных деталей, целостность соединительных элементов. В рабочем режиме дополнительно проверяются биение валов, муфт, утечки смазочного материала, отсутствие контакта подвижных и неподвижных деталей.

При осмотре могут быть применены три основных способа: концентрический, эксцентрический, фронтальный.

При **концентрическом** способе осмотр ведется по спирали от периферии элемента к его центру, под которым обычно понимается условно выбранная точка. При **эксцентрическом** способе осмотр ведется от центра элемента к периферии (по разворачивающейся спирали). При **фронтальном** способе осмотр ведется в виде линейного перемещения взгляда по площади элемента от одной границы к другой.

Во время проведения осмотра проводятся черновые записи результатов. Каждый осматриваемый элемент оборудования должен иметь запись о результатах осмотра. Фотоснимки, зарисовки должны быть дополнением к записи. Записи ведутся в последовательности проведения осмотра, и их форма должна максимально соответствовать форме отчетного документа. Зарисовки мест повреждений выполняются на заранее подготовленных чертежах и эскизах элементов оборудования.

По видам съемка места происшествия делится на ориентирующую, обзорную, узловую и детальную. **Ориентирующая фотосъемка** должна запе-

чатлеть общую картину расположения оборудования на фоне окружающей местности или помещения. **Обзорная фотосъемка** непосредственно фиксирует место проведения осмотра более крупным планом. **Узловая фотосъемка** запечатлевает отдельные «узлы» — наиболее важные места оборудования, проводится с нескольких точек, в максимальном масштабе в зависимости от условий. **Детальная фотосъемка** применяется для фиксации отдельных выявленных дефектов элементов или деталей оборудования, например, трещин, вмятин, зазоров и т. д.

Завершающая стадия заключается в дополнительном осмотре элементов оборудования с позиции уточнения ранее полученных результатов и их регистрации в отчетных формах.

Регистрационные формы — это определенный порядок записей результатов опроса, собственно осмотра и дополняющие их графические изображения деталей и объекта в целом: рисунки, эскизы, чертежи, фотоснимки и т. п. На графических изображениях должны обозначаться: точка начала осмотра и направление, места расположения обнаруженных дефектов и повреждений. В дополнение к рисункам могут использоваться фотоснимки, на которых выделяются места выявленных неисправностей.

Идентификация дефектов и повреждений — отнесение неисправностей к определенному классу или виду (усталость, износ, деформация, фреттинг-коррозия и т. п.). Идентификация выявленных дефектов и повреждений осуществляется путем сравнения их характерных признаков с известными образцами или описаниями, которые для удобства пользования собираются и систематизируются в иллюстрированных каталогах (табл. 3.1).

Характерные повреждения элементов механизмов

Блоки. Основными дефектами блока являются: а) износ ручья; б) износ отверстия блоков под подшипники; в) трещины и обломы реборд.

Допускаются без ремонта отклонения от профиля ручья у блоков диаметром до 300 мм не более, чем на 2 мм, у блоков диаметром свыше 300 мм не более 3 мм. При износе, превышающем 40 % первоначального радиуса ручья, разрешается наплавка ручья с последующей обработкой до чертежных размеров.

Ходовые колеса. Основными дефектами ходовых колес являются: а) трещины; б) износ поверхности катания; в) износ реборд по толщине; г) износ отверстия под подшипники.

Допустимый без ремонта износ поверхности катания допускается не более 2 % диаметра обода. При этом не допускается разность диаметров колес, связанных кинематически, более 0,5 % от диаметра поверхности катания. При износе поверхности катания, превышающем указанные величины, ходовое колесо необходимо ремонтировать наплавкой. Допустимый износ реборд не более 50 % толщины.

Таблица 3.1

**Пример каталога (базы данных) описаний неисправностей,
дефектов и повреждений**

Внешний вид повреждения	Описание повреждения	Причины возникновения
	Осповидное выкрашивание упорного подшипника	Воздействие переменных нагрузок, при напряжениях в материале достигающих предела выносливости
	Пластические сдвиги металла зубьев	1. Перегрузка механизма. 2. Низкое качество термообработки.

Корпуса подшипников. Для корпусов подшипников характерны следующие дефекты: а) трещины; б) износ отверстия под подшипники.

Допускается ремонтировать заваркой одну несквозную трещину. При износе, превышающем допустимый, отверстия стальных корпусов подшипников ремонтируют наплавкой, чугунные корпуса бракуют.

Валы и вал-шестерни. Основными дефектами валов и валов-шестерней являются: а) трещины; б) скручивание; в) прогиб; г) износ шейки под подшипники; д) износ поверхности вала под сопрягаемую деталь; е) износ шлицев по ширине; ж) износ зубьев по толщине; з) выкрашивание рабочей поверхности зубьев. Соответственно работоспособность валов обеспечивается: прямолинейностью, правильным расположением, отсутствием следов износа посадочных поверхностей, целостностью шпоночных и шлицевых соединений.

Шлицевые валы. Визуально проверяют качество внешнего вида поверхностей валов. На рабочих поверхностях валов не допускаются трещины, забоины, вмятины, закаты, расслоения металла. На переходных галте-

лях не допускаются риски, подрезка. Резьбовые поверхности не должны иметь более двух сорванных ниток. Валы с трещинами подлежат браковке. Скрученные валы не ремонтируются и подлежат браковке.

Допустимый прогиб для валов с частотой вращения более 500 об/мин до 0,1 мм на 1 м длины, но не более 0,2 мм на всю длину вала. Для валов с частотой вращения меньше 500 мин⁻¹ допускается прогиб до 0,15 мм на 1 м длины, но не более 0,3 мм на всю длину вала. При прогибе более допустимого необходима правка вала, причем при прогибе до 0,016 длины вала допускается правка в холодном состоянии, свыше — с подогревом. Гарантированный минимальный натяг в сопряжении вал — подшипник должен быть сохранен.

Оси. Основными дефектами осей являются: а) трещины; б) изгибы, прогибы; в) износ шеек под подшипник; г) износ шейки под сопрягаемую деталь. Оси с трещинами подлежат браковке.

Крюки. Основными дефектами крюков являются: а) трещины и надрывы на поверхности; б) износ зева; в) повреждение резьбы на хвостовике под гайку; г) изгиб тела крюка (отгибание). Трещины и надрывы на поверхности крюка ремонту не подлежат, крюк бракуется.

Допустимый износ зева крюка 10 % от высоты его сечения. Допустимый отгиб зева — увеличение прохода до 5 %. Срывы и износ резьбы на хвостовике и изгиб крюков не допускаются. Такие крюки ремонту не подлежат и бракуются.

Не подлежат восстановлению:

- корпусные детали из стального литья при обнаружении в них сквозных трещин, изломов, изгибов, влияющих на монтажные размеры;
- зубчатые колеса и шестерни при наличии изломанных зубьев, трещин, отслоения цементационного слоя, осповидного выкрашивания, ступенчатой выработки, неравномерного изнашивания по длине зуба;
- валы, оси при наличии трещин, изломов, сколов, скручивания;
- подшипники качения при наличии трещин на кольцах, выработки беговых дорожек, деформации и разрушения сепараторов, коррозии, появлении на поверхности металла цветов побежалости, радиального зазора, превышающего допустимую величину, отсутствии тел качения;
- болты, шпильки, гайки, пробки с сорванными резьбами более двух ниток на рабочей части и при утере товарного вида;
- пружины при наличии коррозии, излома, отклонения от перпендикулярности, неравномерности шага более 20 %, потере упругости;
- пружинные кольца и шайбы при наличии остаточной деформации, излома, наличии трещин, потере упругости и товарного вида;
- шпонки при наличии деформации износа, изгиба, скола;
- резинотехнические изделия, войлок, прокладки из филтра, кожи независимо от состояния заменяются новыми.

3.5. Повреждения подшипников качения

Подшипники качения являются основным опорным узлом механического оборудования. Безотказность данного узла достаточно высока. Однако неправильный монтаж, недостаточно надежная защита от попадания влаги и пыли, несоблюдение режимов эксплуатации, особенно смазывания, и ряд других причин приводят к преждевременному разрушению деталей подшипника. В процессе эксплуатации подшипник качения подвергается комплексному воздействию ряда факторов. Один из них является доминирующим, его скорость развития — максимальна. Именно этот фактор и будет являться причиной выхода из строя подшипника.

На подшипник могут действовать следующие силы [13]:

- радиальная сила, приложенная в одной точке, от веса деталей механизма или от технологической нагрузки, постоянная по направлению (местное нагружение);

- радиальная сила, приложенная в двух точках, деформирующая наружное кольцо подшипника, возникает в результате отклонений формы посадочного места подшипника;

- радиальная сила, приложенная в одной точке, совершающая периодическое колебательное движение в ограниченном секторе;

- радиальная сила, вращающаяся вместе с валом, возникает при неуравновешенности ротора, при изгибе вала (циркуляционное нагружение);

- осевая сила, действующая в продольном направлении на все тела качения, в результате изгиба вала, несоосности валов, воздействия продольной технологической нагрузки.

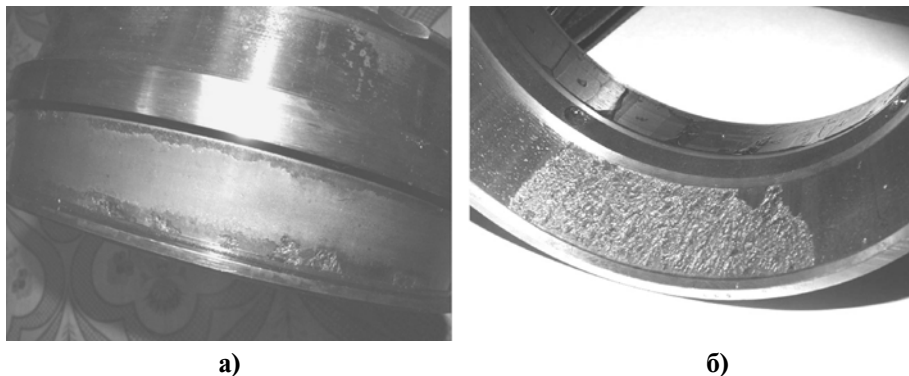
Воздействие указанных сил приводит к появлению на беговых дорожках подшипника характерных повреждений [14].

Следы радиальной силы, приложенной в одной точке, постоянной по направлению, при вращающемся внутреннем и неподвижном наружном кольце проявляются в виде непрерывного следа на внутреннем кольце и местном изнашивании наружного кольца (рис. 3.10).

Если неподвижным является внутреннее кольцо, а подвижным наружное, тогда воздействие постоянной радиальной силы проявится в виде непрерывного следа износа на наружном кольце и местном изнашивании внутреннего кольца.

При деформации наружного кольца подшипника, в результате отклонений формы посадочного места на наружном неподвижном кольце, появится осповидное выкрашивание в двух, почти противоположных, точках.

Радиальная сила, приложенная в одной точке, совершающая периодическое колебательное движение в ограниченном секторе, приводит к местному изнашиванию наружного и внутреннего колец подшипника (рис. 3.11). Такой вид изнашивания и нагружения характерен для шарнирных механизмов, в которых вал не совершает полный поворот.



а)

б)

Рис. 3.10. Следы радиальной силы, постоянной по направлению:

а) непрерывный след износа на внутреннем кольце;

б) местное изнашивание наружного кольца

Радиальная сила, вращающаяся вместе с валом, приведет к появлению постоянного следа износа на неподвижном наружном кольце и местного выкрашивания на внутреннем кольце (рис. 3.12).



Рис. 3.11. Местное изнашивание внутреннего кольца при колебательном движении подшипника



Рис. 3.12. Местное выкрашивание внутреннего кольца при вращающейся радиальной силе и неподвижном наружном кольце

Осевая сила, действующая в продольном направлении, приведет к смещению следов износа на внутреннем и наружном кольцах подшипника (рис. 3.13).

Если вал изогнут, то следы износа будут неравномерны по дорожкам двухрядного подшипника (рис. 3.14).

В подшипниках качения могут проявляться все виды механического изнашивания, рассмотренные в первой главе.

Усталостное выкрашивание поверхностей тел качения и беговых дорожек колец вызывает появление осповидных углублений. Половину силы, действующей на подшипник, воспринимает одно тело качения, расположенное в данный момент на линии действия нагрузки. Такое неравномерное распределение сил на тела качения приводит к повышению контактных напряжений. Осповидное выкрашивание сопровождается повышением вибрации и шума. Являясь наиболее характерными для подшипников качения, эти разрушения должны наблюдаться после длительной работы (рис. 3.15).

Абразивный износ происходит вследствие плохой защиты подшипника от попадания пыли или абразивных частиц (рис. 3.16).

Окислительный вид изнашивания проявляется в виде матовой поверхности беговых дорожек или полос окисных пленок (рис. 3.17).



Рис. 3.13. Смещение следов изнашивания на внутреннем кольце при воздействии осевой силы

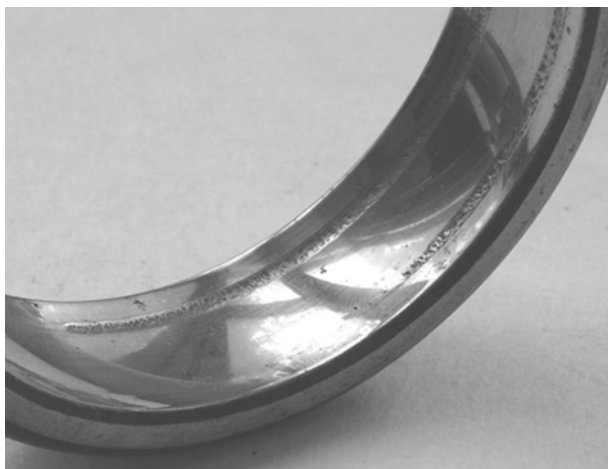


Рис. 3.14. Неравномерное выкрашивание по беговым дорожкам двухрядного подшипника при изгибе вала



Рис. 3.15. Осповидный износ тел качения



*Рис. 3.16. Абразивный износ рабочей поверхности
кольца подшипника*



*Рис. 3.17. Окислительный износ беговых дорожек
конического роликоподшипника*

Схватывание контактирующих деталей в подшипнике происходит при возникновении проблем со смазкой: неправильный выбор смазочного материала; загрязнение смазки; недостаток смазки. Проявляется в виде задириков на беговой дорожке (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Задирки на рабочей поверхности наружного кольца подшипника

Появление цветов побежалости — также свидетельство схватывания поверхностей (рис. 3.19). Возникновению схватывания в данном случае способствовало ослабление посадки из-за трещины кольца и увеличение момента сопротивления в подшипнике из-за проблем смазки.

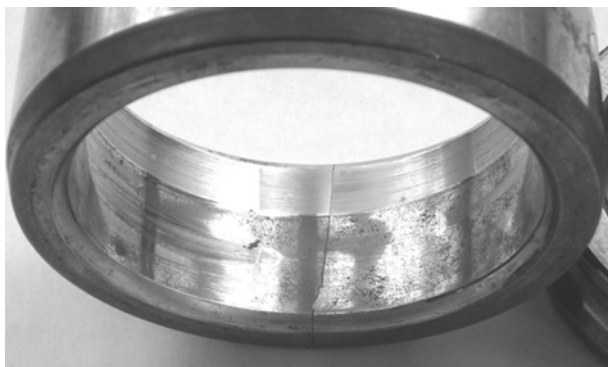


Рис. 3.19. Цвета побежалости на посадочной поверхности внутреннего кольца роликоподшипника, проворачивающегося на валу

Цвета побежалости образуются на деталях подшипников вследствие их перегрева. Представляют собой окисную пленку, образующуюся при однократном или многократном нагревании подшипника до температуры, превышающей 200 °С.

Дополнительно следует выделить следующие повреждения.

Ослабление посадки подшипника в результате ошибок монтажа, эксплуатации часто приводит к проворачиванию подшипника на валу и в корпусе (рис. 3.20). Проворот подшипника сопровождается увеличением температуры узла, изменением характера шума и вибрации и приводит к недопустимому износу корпусных деталей.

Коррозионный износ — результат конденсации влаги в корпусе подшипника при отсутствии смазочного материала (рис. 3.21) или попадания воды в подшипник. Коррозионные разрушения всегда начинаются с поверхности металла. Коррозия на деталях подшипников бывает двух видов —

сплошная и местная. Сплошная коррозия покрывает ровным слоем и изменяет шероховатость поверхности деталей, не образуя отдельных очагов. Местная коррозия наблюдается в виде пятен, глубина которых может быть от незначительного точечного углубления до язвин.

При прохождении электрического тока через шарикоподшипник на беговых дорожках появляются точки, расположенные цепочкой; для роликоподшипника — полоски, параллельные оси вращения (рис. 3.22).

Повреждения сепаратора — наиболее серьезный вид повреждений, при которых возможны повреждения других деталей вследствие вибрации, износа, заклинивания и перекосов.

Бринеллирование проявляется в появлении вмятин с шагом, равным шагу тел качения, является следствием кратковременных чрезмерных ударных воздействий, часто во время монтажа.

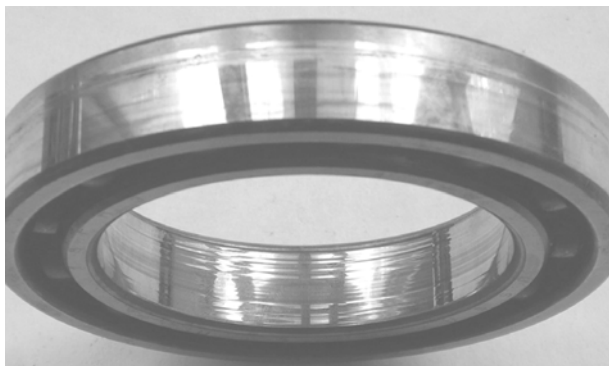


Рис. 3.20. Следы проворачивания колец подшипника

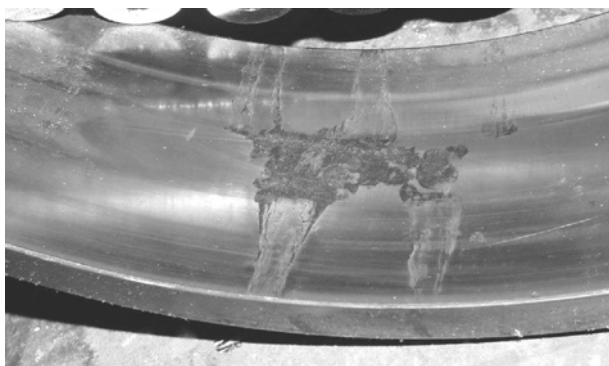


Рис. 3.21. Следы местной коррозии наружного кольца подшипника

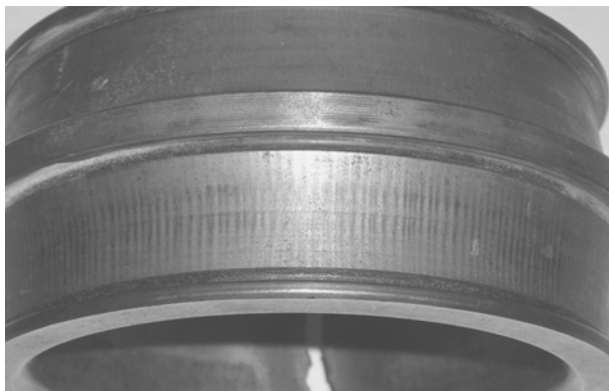


Рис. 3.22. Следы прохождения электрического тока на наружном кольце подшипника

Ложное бринеллирование возникает при оттоке смазки с поверхностей качения подшипников неработающей машины в результате механических колебаний, передающихся от работающих механизмов.

Фреттинг-коррозия возникает при наличии зазора между контактирующими поверхностями и воздействии переменных сил или вибраций. Проявляется в виде интенсивного окисления поверхностей, темных пятен на посадочных поверхностях колец подшипников (рис. 3.23). Приводит к стуку, ударам при работе подшипника. При дальнейшем развитии может служить причиной зарождения усталостных трещин.

Большинство рассмотренных факторов не поддается математическому расчету, однако требует учета при эксплуатации узла. Основные принципы классификации и стадии развития повреждений приведены в табл. 3.2. Главным при осмотре является умение построить причинно-следственную цепочку произошедшего.

Подшипники качения подлежат замене при наличии одного из следующих повреждений: усталостные раковины на дорожках и телах качения; коррозионные раковины на дорожках и телах качения; трещины, сколы бортов, колец; трещины колец, роликов, шариков; трещины, излом сепаратора; задиры на рабочих поверхностях колец и тел качения; износ и обрыв заклепок сепаратора; забоины на сепараторе; рифление на рабочих поверхностях колец и тел качения; выработка на рабочих поверхностях колец и тел качения; вмятины на рабочих поверхностях; поверхностная коррозия на рабочих поверхностях подшипника; цвета побежалости на рабочих поверхностях; увеличение радиального зазора.

Легкость вращения и шумность подшипников малых и средних размеров проверяется вращением от руки одного из колец при неподвижном другом кольце в горизонтальной плоскости или в вертикальной плоскости с периодическим проворачиванием другого кольца. При этом подшипни-

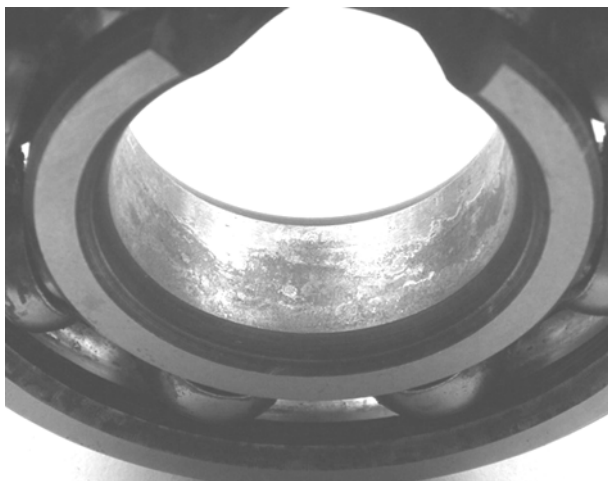


Рис. 3.23. Следы фреттинг-коррозии на посадочной поверхности внутреннего кольца шарикоподшипника

Таблица 3.2

Характер разрушения подшипников качения

Этапы существования механизма	Стадии развития повреждений		
	начальная	промежуточная	заключительная
Изготовление	Следы фреттинг-коррозии	Выкрашивание из-за фреттинг-коррозии	Трещины из-за фреттинг-коррозии
	Овальность корпусных деталей	Задиры на беговых дорожках	Разрушение сепаратора
Монтаж	Монтажные повреждения	Зарождение трещин в кольцах	Трещины и сколы колец
	Деформация сепаратора	Износ сепаратора	Разрушение сепаратора
	Перекас вала	Неравномерный износ деталей	Повреждения тел качения, беговых дорожек
Эксплуатация	Ложное бринеллирование	Износ вследствие вибрации	Выкрашивание и раковины на дорожке качения
	Задиры из-за проскальзывания роликов	Выкрашивание вследствие задигов	Трещины вследствие задигов
	Недостаточное смазывание	Появление цветов побежалости	Заклинивание подшипника

ки должны вращаться плавно, без заеданий и торможения. Тугое вращение подшипника, с заеданием в определенном месте, может быть связано с загрязнением подшипника, с отложением на рабочих поверхностях продуктов распада смазки, с появлением коррозии на рабочих поверхностях.

Крупногабаритный подшипник устанавливают на стенд или проворачивают в горизонтальной плоскости при наличии подставки под внутренним кольцом. На легкость вращения в этом случае, каждый подшипник проверяется дважды, с установкой поочередно на оба торца внутреннего кольца. Исправный подшипник должен вращаться легко, без заметных местных торможений и заеданий, с глухим шипящим звуком. Подшипник, издающий резкий металлический звук или вращающийся с торможением (заеданием) наружной обоймы, следует забраковать.

Вращение колец установленных подшипников должно быть ровным, с медленной остановкой без стуков, рывков и заеданий. Рывки указывают на наличие в подшипнике механических или абразивных частиц; резкое торможение — на малый радиальный зазор; стуки — на вмятины и коррозионные раковины на телах и дорожках качения, на большие зазоры в гнез-

дах сепараторов. В нагруженной зоне все тела качения должны вращаться, проскальзывание тел качения относительно беговых дорожек указывает на значительный износ подшипника.

3.6. Повреждения зубчатых передач

Типичные повреждения рабочих поверхностей зубчатых передач определяются конструкцией и особенностями эксплуатации. Силы, действующие на зубья, вызывают изгиб, сжатие и тангенциальные деформации за счет трения в зоне контакта. Циклическое изменение этих сил, а также изгибающие и контактные напряжения, вызванные этими силами, являются причиной поломки зубьев и усталостного выкрашивания их рабочей поверхности. Трение, возникающее в зоне контакта зубьев, вызывает износ и заедание.

Виды повреждений зубчатых передач: изменение геометрии рабочих поверхностей в результате механического, абразивного, усталостного изнашивания и схватывания сопряженных поверхностей, вследствие чего развиваются повреждения — абразивное изнашивание, усталостное выкрашивание, заедание, задиры, сколы, трещины (рис. 3.24).

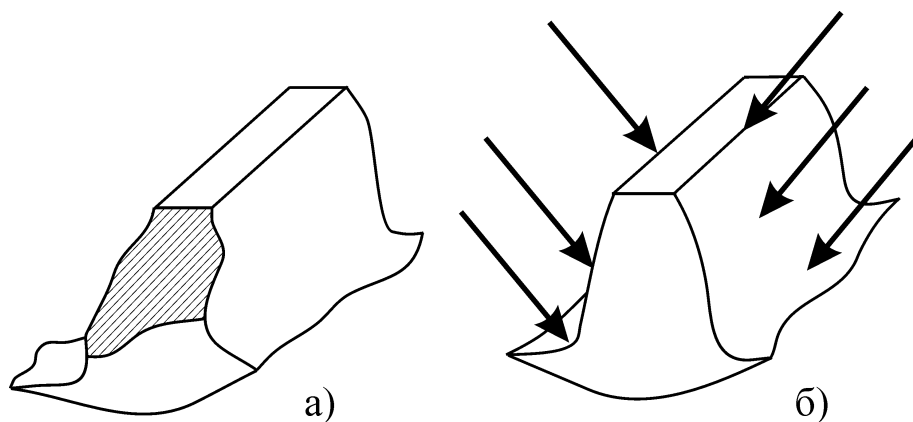


Рис. 3.24. Износ зубчатых передач: а) скол зуба; б) зона осмотра зубьев

Поломка зубьев — наиболее опасный вид разрушения. Она происходит из-за возникающих в зубьях переменных напряжений при деформации изгиба. Поломка зубьев может происходить в результате больших перегрузок ударного и статического характера, а также усталостного разрушения от действия переменных напряжений в течение длительного времени. Трещины усталости возникают у основания зуба из-за неучтенных расчетов перегрузок. Перенапряжение зубьев может вызывать концентра-

цию нагрузки по длине зуба вследствие неправильного монтажа (непараллельности валов), а также из-за грубой обработки поверхности впадин зубьев, заклинивания зубьев при нагреве передачи и недостаточных боковых зазорах. Чаще всего наблюдаются отколы углов зубьев, связанные с концентрацией нагрузки.

Усталостное выкрашивание рабочих поверхностей зубьев — наиболее распространенный эксплуатационный вид повреждения закрытых передач. Возникает в результате действия переменных контактных напряжений в поверхностных слоях материала. В зубчатых передачах, работающих при высоких контактных напряжениях, главным образом на ножках и у полюсной линии, появляются веерообразные микротрещины, которые, развиваясь вглубь по кругу, замыкаются, что и приводит к явлению выкрашивания. Стимулирует выкрашивание смазка, попадающая в трещины. Вследствие клиновидности трещины давление смазки возрастает по глубине и достигает максимального значения у вершины трещины. Прогрессирующий износ вызывает искажение профиля и приводит к снижению ресурса.

Абразивный износ зубьев — основной вид разрушения отрывных передач. Вид поверхности — ряд мелких параллельных полос, перпендикулярных оси колеса. Износ поверхностного слоя, имеющего наибольшую твердость, приводит к увеличению скорости изнашивания. В процессе износа уменьшается размер зуба по толщине, увеличиваются зазоры в зацеплении, нарушается эвольвентность рабочего участка профиля зуба.

Износ схватыванием I и II рода в зубчатых передачах проявляется в виде пластических сдвигов и задиров зубьев.

Пластические сдвиги наблюдаются у тяжелонагруженных зубчатых колес, выполненных из мягкой стали. На поверхности таких зубьев при перегрузке появляются пластические деформации с последующим сдвигом.

Задир зубьев возникает при нарушении сплошности масляной пленки, в случае появления металлического контакта между рабочими поверхностями зубьев, сопровождается нагревом металла вплоть до сваривания микрообъемов металла. Это приводит к появлению борозд, расположенных на рабочей поверхности зубьев, перпендикулярно оси колеса. При загрязненной смазке твердые частицы, попадая в зону контакта сопряженных поверхностей, под давлением внедряются в тело зубьев и вызывают дополнительное истирание поверхности.

В начальный период из-за неточностей изготовления, монтажа нагрузка на их отдельных участках распределяется неравномерно. Это приводит к местному разрушению масляной пленки, смятию и истиранию неровностей на наиболее нагруженных участках, на поверхности зубьев появляются натиры с металлическим блеском.

Наибольший износ рабочих поверхностей наблюдается на ножках зубьев, где имеет место максимальное скольжение. Самый быстроразвиваю-

щийся вид повреждения — разрушение, начинается с образования трещины и заканчивается сколом или поломкой зубьев. Трещины начинают появляться в основании зубьев на стороне растянутых волокон и располагаются перпендикулярно рабочим поверхностям зубьев. Возникновение трещин приводит с течением времени к разрушению зубьев и часто к повреждению других деталей механизма из-за попадания в них кусков зубьев.

Малые зазоры в зубчатых передачах приводят к повышению вибрации и шума. В этом случае происходит подрезание ножки зуба ведущего колеса и на головках зубьев появляются острые кромки.

Уменьшение шероховатости рабочих поверхностей зубьев значительно снижает мгновенную температуру в зоне контакта, повышает долговечность и улучшает условия работы зубчатой передачи.

В червячных передачах витки червяка изнашиваются значительно больше, чем зубья червячного колеса. В цилиндрических передачах наблюдается более интенсивный износ зубьев шестерен, чем зубьев колес.

В открытых и закрытых зубчатых передачах проверяют износ рабочих поверхностей, наличие трещин, сколов, поломок, нарушения правильности зацепления, зазоры, торцевые биения, смещения валов, наличие смазочного материала на поверхностях трения.

При диагностировании червячной передачи определяют «мертвый ход» червяка — перемещение при неподвижном колесе. Для однозаходного червяка ход составляет $8...10^\circ$, для двухзаходного — $4...6^\circ$.

Бракуют колеса по наличию трещин у основания зуба и по площади усталостного выкрашивания, если она превышает 30 % рабочей поверхности зуба, а глубина их превышает 10 % толщины зуба.

Контроль состояния зубчатых передач осуществляется по следующим параметрам: оценка неравномерности вращения тихоходного вала; оценка значения «мертвого» хода редуктора, по пятну контакта прилегания рабочих поверхностей контактирующих зубьев. Мертвый ход редуктора характеризует суммарный износ зубчатых передач, шлицевых и шпоночных соединений, подшипников качения.

Проверка прилегания рабочих поверхностей зубчатых колес осуществляется по металлическому блеску и пробой на краску. По металлическому блеску — обкатывание шестерен с одной или двух сторон зуба. Проба на краску — проворачивание шестерен с краской на ведущем колесе.

Определение отношения размеров пятна краски на зубьях цилиндрических колес к размерам зуба в процентах приведено на рис. 3.25. Удовлетворительным является расположение пятен при выполнении следующих соотношений (обозначения на рис. 3.25): $(h/H) \cdot 100 \% = 25...60 \%$; $[(a-c)/b] \times 100 \% = 30...80 \%$.

Возможные варианты расположения пятна контакта при проверке прямозубого зубчатого зацепления приведены на рис. 3.26. Стрелками по-

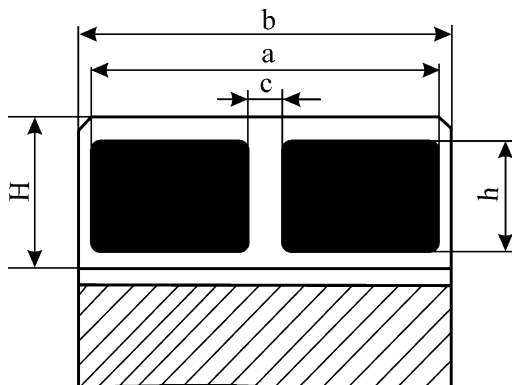


Рис. 3.25. Определение размеров пятна краски на зубьях цилиндрических колес

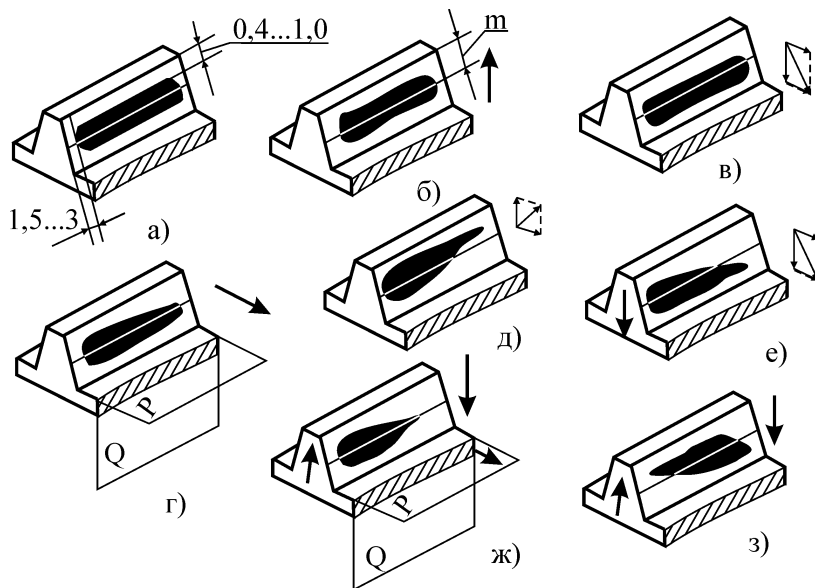


Рис. 3.26. Проверка прямозубчатого зацепления с помощью краски:
 а) правильное зацепление; б) увеличенное расстояние между осями зубчатых колес;
 в) уменьшенное расстояние между осями зубчатых колес; г) непараллельное расположение осей зацепления в плоскости P с правильным расстоянием между осями зубчатых колес; д) непараллельное расположение осей зацепления в плоскости P при уменьшенном расстоянии между осями зубчатых колес; е) непараллельное расположение осей зацепления в плоскости P при увеличенном расстоянии между осями зубчатых колес; ж) непараллельное расположение осей зацепления в плоскости P и излом в плоскости Q при правильном межосевом расстоянии; з) излом осей зацепления в плоскости P при правильном межосевом расстоянии и параллельном расположении в плоскости P

казано направление смещения осей для исправления неправильного зацепления. На зубе проводят чертилкой линию на расстоянии m (модуль) от вершины зуба, зубья колеса меньшего диаметра покрывают тонким слоем краски (берлинская лазурь или голландская сажа), передачу прокручивают на один оборот. Краска должна отпечататься на втором колесе на боковой поверхности зубьев на высоте не менее 60 % высоты зуба. Пятна должны располагаться ближе к вершине зуба, не доходить до края зуба на 1,5...3,0 мм, а до верхней части на 0,4...1,0 мм.

Пятна контакта позволяют оценить и качество сборки цилиндрических зубчатых передач (рис. 3.27).

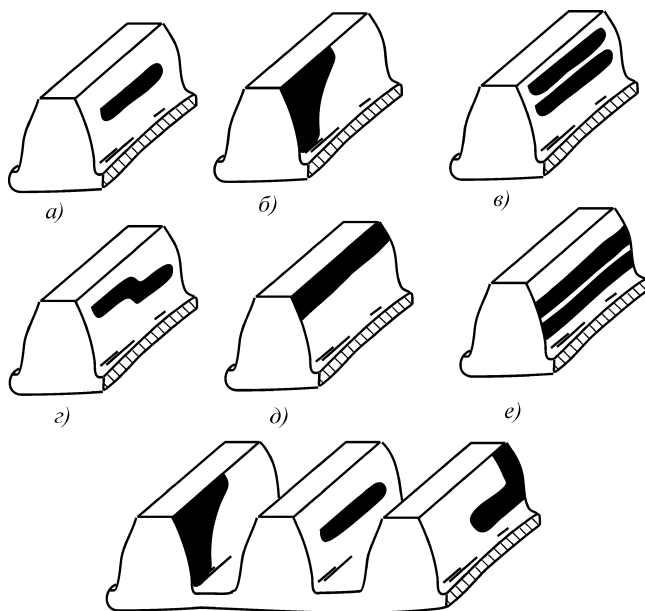


Рис. 3.27. Соответствие пятен контакта и качества сборки цилиндрических зубчатых передач:

- а) хорошее качество сборки; б) брак, перекос колес; в) брак, увеличенный боковой зазор приводит к радиальным биениям и вибрации; г) брак, излом осей колес; д) удовлетворительное качество сборки, увеличено межцентровое расстояние; е) брак, увеличенный радиальный зазор; ж) брак, радиальное и торцевое биения приводят к вибрации механизма

4.1. Сборка и разборка шпоночных, шлицевых соединений

Шпоночные соединения передают вращающий момент от вала к колесу и служат для закрепления на валах и осях различных деталей машин — зубчатых колес, муфт, шкивов. Образуются посредством шпонки, установленной в сопряжённые пазы вала и колеса.

Шпонка имеет вид призмы, клина или сегмента, реже применяются шпонки других форм. Шпоночные соединения просты, надёжны, удобны в сборке и разборке, дешёвы. Недостатки: ослабляют сечение валов и ступиц колёс; концентрируют напряжения в углах пазов; нарушают центрирование колеса на валу (для этого приходится применять две противоположные шпонки).

Виды шпоночных соединений: ненапряжённые — призматические или сегментные шпонки, передают момент боковыми гранями; напряжённые — клиновые шпонки, передают момент за счёт сил трения по верхним и нижним граням; тангенциальные — состоят из двух клиньев с одинаковым уклоном, составленных так, что рабочие грани их взаимнопараллельны. Шпонки всех основных типов стандартизованы.

Для призматических шпонок стандарт указывает ширину и высоту сечения. Глубина шпоночного паза в валу принимается как 0,6 от высоты шпонки. Призматические и сегментные шпонки всех форм испытывают смятие боковых поверхностей и срез по средней продольной плоскости:

$$\sigma_{\text{смят}} = 2M_{\text{вращ}} / (0,4hdl) \leq [\sigma]_{\text{смят}}; \tau_{\text{срез}} = 2M_{\text{вращ}} / (dbl) \leq [\tau]_{\text{срез}},$$

где h — высота сечения шпонки, d — диаметр вала, b — ширина сечения шпонки, l — рабочая длина шпонки (участок, передающий момент).

Исходя из статистики поломок, расчёт на смятие проводится как проектный. По известному диаметру вала задаются стандартным сечением призматической шпонки и рассчитывают рабочую длину. Расчёт на срез — проверочный. При невыполнении условий прочности увеличивают рабочую длину шпонки.

Сборка шпоночных соединений. Призматические шпонки подлежат замене при: смятии боковых граней; ослаблении посадки; смятии шпоночной канавки. Разборку шпоночного соединения можно вести различными способами, в зависимости от конструкции соединения. Для разборки в

средней части шпонки выполняют резьбовое отверстие и ввертывают в него винт. При подгонке и сборке призматических шпонок рекомендуется выполнить скос на поверхности шпонки со стороны вала, на длину не более высоты шпонки, с обратной стороны сделать пометку. Непременное условие процесса разборки шпоночного соединения — сохранение чистоты и точности посадочных мест.

При небольшой выработке стенки канавки необходимо выровнять стенки шпоночной канавки до получения правильной формы и изготовить новую шпонку, с увеличенным сечением. Расширение шпоночной канавки допускается на величину, не превышающую 10...15 % от первоначального размера. При изготовлении новой шпонки и ремонте шпоночной канавки обработку следует вести соответствующим инструментом. Засверливание шпоночных канавок должно проводиться фрезой.

Перед сборкой детали очищают и проверяют посадочные размеры, наличие на сопрягаемых поверхностях забоин, заусенцев и других дефектов. Измерение глубины пазов, высоты и правильности установки шпонок проводится с использованием щупов, шаблонов, индикаторов перемещения часового типа и специальных подставок.

Посадку шпонки в паз вала проводят легкими ударами медного молотка (или молотка из мягкого металла), под прессом или с помощью струбцин. Перекос шпонки и врезание в тело паза не допускаются. Отсутствие бокового зазора между шпонкой и пазом проверяют щупом, затем насаживают охватываемую деталь (колесо, шкив) и проверяют наличие радиального зазора.

При сборке клиновых шпонок необходимо следить за тем, чтобы шпонка плотно прилегала к дну паза вала и втулки и имела зазоры по своим боковым стенкам. Верхняя грань клиновых шпонок должна быть выполнена с уклоном по длине 1:100. Уклоны на рабочей поверхности шпонки и в пазе втулки должны совпадать, иначе деталь будет сидеть на валу с перекосом. Точность посадки шпонки проверяется щупом с обеих сторон втулки. При сборке пазы вала или поверхности шпонки припиливают или пришабривают для исключения перекоса и смещения. В собранном соединении головка клиновой шпонки не должна доходить до торца ступицы на величину, равную высоте шпонки. Во избежание выпадения клиновых и тангенциальных шпонок (при их ослаблении) у головок устанавливают упоры на винтах. Следует отметить неопределенность возникающих усилий при запрессовке клиновых шпонок. Это может привести к повреждению ступиц охватываемых деталей.

Шпонки размером сечения более 28×16 мм необходимо проверять на краску по посадочным местам до получения пяти и более отпечатков на квадратный сантиметр поверхности. Перед установкой шпонки необходимо зачистить и смазать маслом шпонку и шпоночную канавку. Не допус-

кается во всех видах шпоночных соединений устанавливать какие-либо подкладки для достижения плотной посадки шпонок.

Сегментные шпонки в меньшей мере подвержены перекоосу и не требуют ручной пригонки (так как шпоночный паз получают фрезой, соответствующей размеру шпонки); паз под сегментную шпонку более глубокий, что ослабляет сечение вала.

В собранном соединении между верхней гранью призматической шпонки и основанием паза ступицы (рис. 4.1) радиальный зазор должен соответствовать приведенным в табл. 4.1 данным. В соединениях с клиновой шпонкой (рис. 4.2) боковой зазор между пазом и шпонкой не должен превышать величин, указанных в табл. 4.2.

Таблица 4.1

**Значения радиального зазора для призматических шпонок
в зависимости от диаметра вала**

Диаметр вала, мм	Радиальный зазор, мм
От 25 до 90	0,3
От 90 до 170	0,4
Свыше 170	0,5

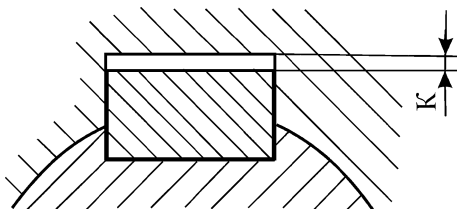


Рис. 4.1. Зазор при установке призматических шпонок

Таблица 4.2

**Значения бокового зазора для клиновых шпонок
в зависимости от размера шпонок**

Нормальные размеры шпонок, мм	Боковой зазор, мм
$b = 12 \dots 18; h = 5 \dots 11$	0,35
$b = 20 \dots 28; h = 8 \dots 16$	0,4
$b = 32 \dots 50; h = 11 \dots 28$	0,5
$b = 60 \dots 100; h = 32 \dots 50$	0,6

Направляющие призматические шпонки устанавливают с дополнительным креплением в пазу винтами, в пазу перемещаемых деталей делают более свободную посадку.

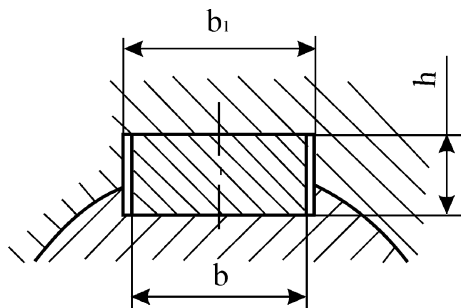


Рис. 4.2. Зазоры при установке клиновых шпонок

Шлицевые соединения образуются выступами на валу, входящими в сопряжённые пазы ступицы колеса. По внешнему виду и по динамическим условиям работы шлицы можно считать многшпоночными соединениями. Некоторые авторы называют их зубчатыми соединениями. В основном используются прямобочные шлицы, реже эвольвентные и треугольные профили шлицев. Число шлицев принимают четным (6, 8, 10).

Прямобочные шлицы могут центрировать колесо по боковым поверхностям, по наружным и внутренним поверхностям (рис. 4.3). Точные соединения центруют по наружному или внутреннему диаметру, а соединения, передающие большой крутящий момент, — по боковым поверхностям.

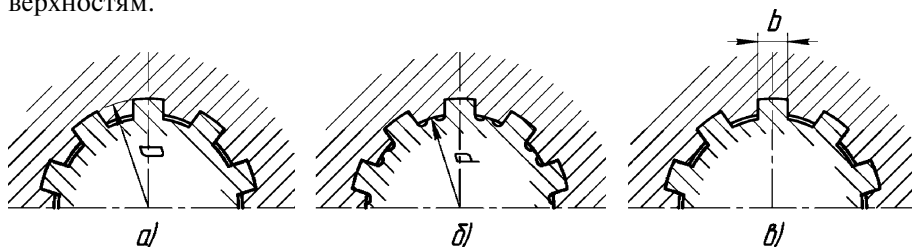


Рис. 4.3. Виды центрирования прямобочных шлицевых соединений:
а) по наружному диаметру; б) по боковым поверхностям;
в) по внутреннему диаметру

В сравнении со шпонками, шлицы: имеют большую несущую способность; передают больший крутящий момент; лучше центрируют колесо на валу; усиливают сечение вала за счёт большего момента инерции ребристого сечения по сравнению с круглым; требуют специального оборудования для изготовления отверстий. Основными критериями работоспособности шлицев являются: сопротивление боковых поверхностей смятию (расчёт аналогичен шпонкам); сопротивление износу при фреттинг-коррозии (малые взаимные вибрационные перемещения).

Смятие и износ связаны с одним параметром — контактным напряжением $\sigma_{см}$. Это позволяет рассчитывать шлицы по обобщённому критерию — одновременно на смятие и контактный износ. Допускаемые напряжения $[\sigma]_{см}$ назначают на основе опыта эксплуатации подобных конструкций. Для расчёта учитывается неравномерность распределения нагрузки по зубьям:

$$\sigma_{см} = 8M_{вращ} / (Zhd_{cp}l) \leq [\sigma]_{см},$$

где Z — число шлицев, h — рабочая высота шлицев, l — рабочая длина шлицев, d_{cp} — средний диаметр шлицевого соединения.

Для эвольвентных шлицев рабочая высота принимается равной модулю профиля, за d_{cp} принимают делительный диаметр. Условные обозначения прямобочного шлицевого соединения составляют из обозначения поверхности центрирования D , d или b , числа зубьев Z , номинальных размеров $d \times D$ (а также обозначения полей допусков по центрирующему диаметру и по боковым сторонам зубьев). Например, $D-8 \times 36 H7/q6 \times 40$ означает восьмишлицевое соединение с центрированием по наружному диаметру с размерами $d = 36$ мм, $D = 40$ мм и посадкой по центрирующему диаметру $H7/q6$.

При центрировании по наружному диаметру с посадкой по диаметру центрирования $H8/h7$:

$$D-8 \times 36 \times 42 H8/h7 \times 7 D10/d10.$$

Сборка шлицевых соединений

При шлицевом соединении охватывающая деталь может центрироваться по поверхностям впадин, выступов или по поверхности шлицев. Шлицевые соединения бывают жесткие и подвижные. Подвижные соединения имеют обычно посадку с зазором и собираются от руки, перед сборкой детали смазывают. Жесткие соединения могут иметь переходную посадку или посадку с натягом и собираются путем нагрева до температуры 80...120°С и прессования охватывающей детали на вал.

Жесткие шлицевые соединения после сборки проверяют на биения, а подвижные соединения — на равномерность проворачивания относительно неподвижного вала в 4-х диаметральных сечениях. При сборке ответственных шлицевых соединений прилегание сопрягаемых поверхностей проверяют на краску.

4.2. Сборка и разборка резьбовых соединений

Резьбовые соединения — наиболее распространенный вид разъемных соединений. Трудоемкость сборки (разборки) этих соединений при ремонте, монтаже, техническом обслуживании достигает 20 % от общей трудоемкости работ. В зависимости от трудоемкости резьбовые соединения делят на две группы: резьбовые соединения до М24, резьбовые соединения выше М24. Сборка (разборка) соединений первой группы проводится без специальных приспособлений. Трудоемкость сборки (разборки) соединений второй группы в 10...15 раз выше [15].

Резьбы крепёжные предназначены для фиксации деталей (метрическая с треугольным профилем 60°, трубная — треугольная со скруглёнными

вершинами и впадинами 55° , круглая), должны обладать самоторможением для надёжной фиксации. **Резьбы ходовые** для винтовых механизмов (прямоугольная, трапецеидальная 30° : симметричная, несимметричная упорная) должны обладать малым трением для снижения потерь. Основные детали соединения: болт, гайка, шайба, винт, шпилька.

Надёжность крепежных резьбовых соединений зависит от материала деталей — обеспечение работы соединения в упругой области; условия сборки должны соответствовать условиям проектирования; сила предварительной затяжки должна обеспечивать нераскрытие стыка или герметичность на стадии эксплуатации.

Компоновка резьбовых соединений сводится к трём схемам.

1. Болт в отверстие вставлен с зазором. Соединение нагружено продольной силой Q . Болт растянут. Из условия прочности на растяжение — внутренний диаметр резьбы болта:

$$d_{\text{внутр}} = [4 Q / (\pi [\sigma]_{\text{раст}})]^{1/2}.$$

Найденный внутренний диаметр резьбы округляют до ближайшего большего.

2. Болт в отверстие вставлен без зазора. Соединение нагружено поперечной силой P . При этом болт работает на срез (чистый болт). Внутренний диаметр резьбы:

$$d_{\text{внутр}} = [4 P / (\pi [\tau]_{\text{срез}})]^{1/2}.$$

Порядок назначения размера болта аналогичен.

3. Болт вставлен с зазором. Соединение нагружено поперечной силой F . Сила затяжки болта V должна дать такую силу трения между деталями, которая была бы больше поперечной сдвигающей силы F . Болт работает на растяжение, от момента затяжки испытывает кручение, которое учитывается повышением нормальных напряжений на 20 % (в 1,2 раза). Величина требуемой растягивающей силы V в зависимости от сдвигающей поперечной силы F :

$$V = 1,2 \cdot F / f.$$

Тогда внутренний диаметр резьбы болта:

$$d_{\text{внутр}} = [4,8 F / (\pi f [\sigma]_{\text{раст}})]^{1/2},$$

где f — коэффициент трения.

В расчёте находится внутренний диаметр резьбы, а обозначается резьба по наружному диаметру. Часто ошибка состоит в том, что, рассчитав внутренний диаметр резьбы болта 8 мм, назначают болт М8, а следует назначить болт М10, имеющий наружный диаметр резьбы 10 мм, а внутренний

8 мм. Концентрация напряжений во впадинах витков резьбы учитывается занижением допускаемых напряжений материала на 40 %.

Достоинства резьбовых соединений: высокая надёжность; удобство сборки-разборки; простота конструкции; дешевизна (вследствие стандартизации); технологичность; возможность регулировки силы сжатия.

Недостатки резьбовых соединений: концентрация напряжений во впадинах резьбы; отвинчивание при вибрации, переменных температурах, переменных силах. Для предотвращения отвинчивания применяют стопорение: контргайками, посадкой на клей, пружинными шайбами, шплинтами, шайбами с лапками, обвязкой проволокой через отверстия в головках болтов с натяжением проволоки в сторону затяжки резьбы.

Осевая нагрузка винта передаётся через резьбу гайке и уравнивается реакцией опоры. Каждый из Z -витков резьбы нагружается силами F_1, F_2, \dots, F_Z . Нагрузка на витках неодинакова. Задача о распределении нагрузки по виткам статически неопределима, решена Н. Е. Жуковским на основе системы уравнений для стандартной шестигранной гайки. Решение указывает на значительную перегрузку нижних витков и бессмысленность увеличения высоты гайки, т. к. последние витки практически не нагружены.

$$F_1 = 0,34; F_2 = 0,227; F_3 = 0,151; F_4 = 0,110; F_5 = 0,0682; \\ F_6 = 0,0452; F_7 = 0,030; F_8 = 0,020; F_9 = 0,013; F_{10} = 0,0089.$$

Основные виды разрушений у крепёжных резьб — срез витков, у ходовых — износ витков. Основным критерий работоспособности для расчёта крепёжных резьб — прочность по касательным напряжениям среза, а для ходовых резьб — износостойкость по напряжениям смятия. При расчётах неравномерность нагрузки учитывают эмпирическим (опытным) коэффициентом K_m , который равен 0,87 — для треугольной, 0,5 — для прямоугольной, 0,65 — для трапециевидальной резьбы.

Условие прочности на срез:

$$F / (\pi d_1 H K K_m) \leq [\tau] \text{ для винта;}$$

$$\tau = F / (\pi d H K K_m) \leq [\tau] \text{ для гайки,}$$

где H — высота гайки или глубина завинчивания винта в деталь; d_1, d — диаметр основания резьбы у винта и у гайки; $K = av/p$ или $K = ce/p$ — коэффициент полноты резьбы; av, ce — длина основания контактирующего витка винта и гайки; p — шаг резьбы; K_m — коэффициент неравномерности нагрузки по виткам.

Условие износостойкости на смятие:

$$\sigma_{cm} = F / (\pi d_2 h Z) \leq [\sigma]_{cm},$$

где d_2 — средний диаметр резьбы; Z — число рабочих витков; h — высота витка.

Отказы резьбовых соединений могут происходить как при чрезмерных, так и при недостаточных силах затяжки. Поэтому контроль силы затяжки — одна из ответственных операций сборки. Различают методы контроля: измерение сил в болтах, измерение удлинения болтов, измерение углов поворота гайки, крутящего момента на рукоятке гаечного ключа.

Зависимость между силой предварительной затяжки Q_0 и удлинением болта определяется формулой:

$$Q_0 = \Delta l / (\lambda_0 + \lambda_1),$$

где Δl — удлинение болта (шпильки); λ_0 , λ_1 — податливость болта и соединяемых деталей.

При болтах постоянного сечения и однородных деталях:

$$\lambda_0 = l_\sigma / (E_\sigma A_\sigma); \lambda_1 = \delta_\sigma / (E_\sigma A_\sigma),$$

где E_σ , E_σ , A_σ , A_σ — модули упругости и площади сечения болта и деталей; δ_σ — суммарная толщина деталей $\delta_\sigma = l_\sigma$.

В сложном случае податливость системы определяют как сумму податливостей отдельных участков болта и отдельных деталей. Под площадями сечения A понимают площади тех частей, которые подвержены деформации от затяжки болта. Полагают, что деформации от гайки и головки болта располагаются вглубь деталей по конусам с углом $\alpha = 30^\circ$.

Сила предварительной затяжки при измерении угла поворота гайки:

$$Q_0 = S \cdot \varphi / 2\pi(\lambda_0 + \lambda_1),$$

где S — шаг резьбы; φ — угол поворота гайки. Точность контроля силы предварительной затяжки по углу поворота гайки составляет $\pm 20\%$, так как не определен начальный угол, при котором начинается упругая деформация.

Крутящий момент $M = T \cdot L$ (T — сила на рукоятки, L — длина ключа), прикладываемый к гайке, уравнивается моментом сопротивления между гайкой и опорной поверхностью промежуточной детали M_1 и моментом сопротивления в резьбе M_2 :

$$M = M_1 + M_2;$$

$$M_1 = \mu_1 \cdot Q_0 \cdot r; M_2 = Q_0 \cdot d_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho) / 2,$$

где μ_1 — коэффициент трения на торце гайки; r — средний радиус опорной поверхности; d_{cp} — средний диаметр резьбы; β — угол подъема винтовой линии; ρ — угол трения в резьбе ($\rho = \operatorname{arctg} \mu_2$); μ_2 — коэффициент трения в резьбе.

Сборка резьбовых соединений. Перед сборкой выполняют расконсервацию крепежных деталей, снимая защитную смазку растворителем, выполняют очистку резьбы. Проверяют состояние резьбы, снимают заусенцы, поврежденные места зачищают, смазывают резьбу и проверяют свинчиваемость соединения.

Метки на деталях с левой резьбой

На все детали с левой резьбой, в том числе и на детали, применяемые при ремонте машин, наносят метки. На деталях с наружной левой резьбой, у которых в собранном виде легко различимо направление нарезки, и на детали с левой резьбой, не подвергающиеся разборке, наносить метки не обязательно.

Способы нанесения меток.

1. На гайки и головки болтов, имеющие грани, метки наносят в виде круговой прорези по углам граней.

2. На гайки, не имеющие граней, на другие детали с внутренней резьбой, метки наносятся в виде прорези по диаметру на торце.

3. На болты, не имеющие граней, а также на другие детали с наружной резьбой, метки наносятся в виде кольцевой канавки или прорези по диаметру на одном из торцов детали.

4. На винты для металла метки наносятся в виде прорезей, параллельных пазу для отвёртки.

5. На винты с шестигранным или иным углублением для ключа в головке, метки наносятся в виде прорези по диаметру на торце.

Детали, к которым нельзя применить указанные способы нанесения меток, допускается клеймить буквой Л. Метки деталей с левой резьбой должны быть хорошо видны при разборке агрегата. Метки не должны уменьшать прочность деталей и должны отличаться от конструктивных элементов деталей. Размеры метки устанавливаются чертежом.

Дефектовка крепежных изделий

Осмотром проверяют наличие дефектов поверхностей, состояние резьбы, наличие изгиба стержней. При наличии вмятин, забоин, выкрашивании, срыве более двух ниток резьбы, изгибе стержней и заметном износе крепежные детали бракуют. Опробованием вручную определяют пригодность резьбы, закручивая и откручивая болт или гайку.

Последовательность сборки резьбовых соединений: проверяют стык соединяемых деталей на прилегание стыкуемых поверхностей; при необходимости пригоняют стыкуемые поверхности; совмещают оси отверстий под крепёжные детали; в отверстия вставляют болты или ввертывают шпильки; надевают шайбы и подкладочные стопорные элементы; наворачивают гайки и предварительно их навинчивают; замеряют за-

зор по опорным поверхностям гаек (прилегание опорных поверхностей должно быть не менее 75 % по всей длине окружности); окончательно затягивают гайки; контролируют в соответствии с рабочими чертежами правильность взаимной ориентации соединяемых деталей и плотность стыка. При постановке шпильки необходимо: обеспечить плотную посадку в корпусе; установить ось шпильки перпендикулярно поверхности детали, неперпендикулярность вызывает значительные напряжения в резьбе.

В зависимости от инструментального обеспечения при сборке резьбовых соединений применяют: традиционную затяжку с приложением к гайке крутящего момента; предварительный нагрев болтов; приложение к болту осевых сил.

Традиционная технология с приложением крутящего момента к гайке осуществляется с помощью гаечных ключей, ключей предельного момента, динамометрических ключей, ключей мультипликаторов, гидравлических, пневматических, электрических гайковертов. Данные инструменты не имеют приборов для измерения сил (за исключением динамометрических ключей). Традиционная технология приводит к возникновению в стержне болта касательных напряжений.

Технология сборки резьбовых соединений с предварительным нагревом болтов (до 100°С) исключает возникновение касательных напряжений, однако трудно учесть потери тепла при сборке — это не позволяет обеспечить создание в болтах заданных сил предварительной затяжки.

Технология сборки резьбовых соединений с приложением к болтам осевых сил исключает возникновение в стержнях касательных напряжений, а использование гидравлического инструмента позволяет обеспечить контроль усилий затяжки при помощи манометров на маслостанции.

Группы болтов (шпилек) затягивают с одинаковым усилием. Для ответственных (конструктивных) болтов и шпилек затяжку производят в 2 «обхода», а для ответственных (расчетных) — не менее, чем в 3 «обхода» (0,5; 0,7; 1,0 усилия затяжки). Затяжку следует проводить в шахматном порядке симметрично относительно продольной оси стыка.

Рекомендуется сборку соединений проводить в два этапа. На первом этапе с помощью ключей, гайковертов и специальных накидных головок проводят навинчивание гайки до упора. На втором этапе с помощью устройств, ключей-мультипликаторов, гайковертов, гидравлических ключей или специальных домкратов окончательно затягивают гайки. Резьбовые соединения с предварительным растяжением собирают в 2 «обхода».

Сборку резьбовых соединений фланцевых стыков проводят в определенной последовательности путем одновременной затяжки симметрично расположенных пар гаек (попарная сборка) либо диаметрально расположенных гаек (рис. 4.4).

Обозначения резьбы: М24 — метрическая диаметр 24 мм; М24х1,5 — метрическая диаметр 24 мм, шаг 1,5 мм; М24ЛН — метрическая диаметр 24 мм, левая, с крупным шагом. Винты и гайки обычно выполняются из Ст3, Ст4, Ст5, Ст35, Ст45. Болты для напряжённых соединений выполняют из Ст40, 40ХН. Выбор материалов и параметров резьбовых соединений определяется расчётом на прочность. В обозначениях болтов дополнительно указывают длину, класс прочности.

Механические свойства болтов, крепёжных винтов и шпилек из углеродистых нелегированных и легированных сталей по ГОСТ 1759.4-87 (ISO 898/1-78) при нормальных условиях характеризуют 11 классов прочности: 3.6; 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 6.8; 8.8; 9.8; 10.9; 12.9. Первое число, умноженное на 100, определяет номинальное временное сопротивление в Н/мм², второе число (отделённое точкой от первого), умноженное на 10, — отношение предела текучести к временному сопротивлению в процентах. Произведение чисел, умноженное на 10, определяет номинальный предел текучести в Н/мм².

Для изготовления болтов с классом прочности 5.8 используется низко- или среднеуглеродистая сталь; для класса прочности 8.8 — среднеуглеродистая сталь; для класса прочности 10.9 — легированная сталь.

Гайки из углеродистых нелегированных и легированных сталей по ГОСТ 1759.5-87 разделяются по классу прочности 4; 5; 6; 8; 9; 10; 12 — для гаек с нормальной высотой, равной или более 0,8d; 04; 05 — для гаек с номинальной высотой от 0,5d до 0,8d. Класс прочности обозначен числом, при умножении которого на 100 получают значение напряжения от испытательной нагрузки в МПа, и указывает на наибольший класс прочности болтов, с которыми они могут создавать соединение.

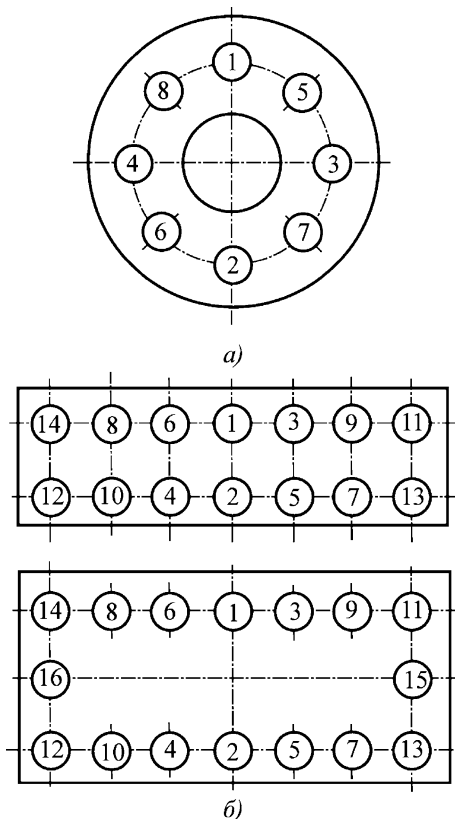


Рис. 4.4. Последовательность затяжки резьбовых соединений
а — фланцевые; б — полосовые и прямоугольные

Для изготовления гаек с классом прочности 2 используется низко- или среднеуглеродистая сталь; для класса прочности 5 — среднеуглеродистая сталь; для класса прочности 8 — легированная сталь.

В табл. 4.3 указаны механические свойства болтов, шпилек, винтов по ГОСТ 1759.4-87.

4.3. Сборка подшипников качения

Технологический процесс сборки подшипников качения состоит из подготовительных, сборочных и регулировочных операций.

Подготовительные операции — проверка качества посадочных мест на валу и в корпусе, проверка исправности и комплектности соединительных и уплотнительных деталей. Посадочные места не должны иметь забоин, рисок, пятен коррозии, трещин, заусенцев. Чистота поверхности — не ниже 6...9 классов. Не допускается кернение посадочных мест, опиловка шеек и установка прокладок. Сопрягаемые с подшипниками поверхности валов и корпусов должны быть тщательно промыты, протерты, просушены и смазаны тонким слоем смазочного материала. Каналы для подвода смазки должны быть продуты и очищены от стружки и других частиц.

Рабочий инструмент должен быть чистым, тщательно подобранным, без заусенцев. Во избежание повреждений рабочих поверхностей подшипников запрещается вращать подшипники непромытыми. Не разрешается вращать сухие подшипники, не имеющие на рабочих поверхностях масла.

Диаметральные размеры контролируются измерительным инструментом с микрометрическим винтом в нескольких сечениях по длине посадочного места в трех диаметральных направлениях, расположенных под углом 120° по окружности. После этого вычисляется среднеарифметическое значение размера. Биение заплечиков измеряют индикатором, установленным у торца заплечика, при вращении вала. Геометрические оси сопрягаемых с подшипником деталей должны быть перпендикулярны к торцевым посадочным поверхностям.

В результате деформаций, связанных со старением металла или недостаточной жесткостью корпуса, возможна деформация наружных колец подшипников в плоскости разъема. Для устранения дефекта в разъемных корпусах шаберами выполняют развалку:

$$a = 10^{-2}b; b = 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot (D + 165),$$

где a , b — ширина и высота развалки, мм.

Валы, особенно при соотношениях длины и наибольшего диаметра более 8, следует проверять на прямолинейность оси (отсутствие изгиба). Проверку проводят при вращении вала в центрах с помощью индикаторов. Увеличение эксцентриситета от сечения к сечению в направлении от края к середине указывает на искривление вала.

Механические свойства болтов, шпилек, винтов по ГОСТ 1759.4-87

Класс прочности	Болты	Применяемые гайки		Временное сопротивление σ_B , МПа		Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение после разрыва σ_5 , %	Ударная вязкость $a_{и}$, Дж/см ²	Твердость по Бринеллю, НВ	
		Класс прочности	Марка стали	ном.	мин.				ном.	макс.
3.6	10, 10кп	4	Ст3кп, Ст3сп	300	330	180	25	-	90	238
4.6	20	5	10, 10кп, 20	400	420	240	22	55	114	238
4.8	10, 10кп					320	14	-	124	
5.6	30, 35	6	Ст5, 15, 15кп, 35	500	520	300	20	50	147	238
5.8	10, 10кп, 20, 20кп					400	10	-	152	
6.6	35, 45, 40Г	8	20, 20кп, 35, 45	600	600	360	16	40	181	238
6.8	20, 20кп					480	8	-		
8.8	35, 35Х, 38ХА, 45Г, 40Г2, 40Х, 30ХГСА, 35ХГСА, 16ХСН, 20Г2Р	9	35Х, 39ХА	800	830	640	12	60	238	318
9.8		10	40Х, 40ХГСА, 16ХСН	900	900	720	10	50	276	342
10.9		12	30ХГСА	1000	1040	900	9	40	304	361
12.9		12	30ХГСА, 40ХН2МА	1020	1200	1080	8	30	360	

Необходимо проверить отклонение соосности всех посадочных поверхностей, расположенных на одной оси. Если подшипники, служащие опорой одного вала, устанавливают в различные (раздельные) корпуса, соосность корпусов обеспечивается с помощью прокладок или других средств в соответствии с требованиями технической документации.

Для подготовки подшипников к монтажу проверяют надписи на упаковке и подшипниках. Распаковывают подшипники непосредственно перед началом работ. Расконсервацию подшипников проводят в горячем (80...90 °С) минеральном масле. Хранить расконсервированные подшипники более двух часов без защиты от коррозии не рекомендуется.

Перед монтажом подшипник следует проверить на соответствие внешнего вида, легкости вращения, зазоров требованиям нормативно-технической документации. Визуально у подшипников открытого типа проверяют наличие забоин, следов загрязнений, коррозии, полного комплекта заклепок, плотности их установки, полного комплекта тел качения, наличие повреждений сепаратора. У подшипников закрытого типа следует проверить, не повреждены ли уплотнения или защитные шайбы.

Легкость вращения предварительно смазанного подшипника проверяют вращением от руки наружного кольца. Проверку ведут, удерживая подшипник за внутреннее кольцо в горизонтальном положении. Кольца должны вращаться плавно, без резкого торможения.

Для проверки радиального зазора одно из колец подшипника закрепляют при горизонтальном положении оси и определяют зазор с помощью индикатора, смещая свободное кольцо под действием измерительного усилия в радиальном направлении в два диаметрально противоположные положения. Разница показаний прибора соответствует значению радиального зазора. Проводят три измерения, поворачивая свободное кольцо относительно начального положения оси подшипника. Аналогично проводят измерение осевого зазора, но при вертикальном положении оси подшипника. Закрепляя одно из колец, другое смещают в осевом направлении в два крайние положения под действием измерительного усилия и фиксируют разность показаний индикатора. Радиальные зазоры в радиальных двухрядных сферических роликовых подшипниках и подшипниках с цилиндрическими роликами без бортов на наружных кольцах с диаметром посадочного отверстия свыше 60 мм могут быть измерены с помощью шупа.

При установке на одну посадочную шейку двух подшипников (радиальных: шариковых, роликовых сферических и цилиндрических) разница в радиальных зазорах не должна превышать 0,03 мм, а по внутреннему и наружному диаметрам колец — не более половины поля допуска.

Сборочные операции — совмещение внутренних колец с валами и наружных с корпусами. Для совмещения внутренних колец с валами используют три способа: механический, нагрев внутренних колец, охлаждение валов.

Механическое сопряжение возможно при сборке небольших подшипников с внутренним диаметром до 50...60 мм. При монтаже подшипника усилие напрессовки должно передаваться только через напрессовываемое кольцо — через внутреннее при монтаже на вал и через наружное — в корпус. Запрещается проводить монтаж так, чтобы усилие передавалось с одного кольца на другое через тела качения. Если подшипник одновременно монтируется на вал и в корпус, то усилия передаются на торцы обоих колец.

Не допускается приложение монтажных усилий к сепаратору. Нельзя наносить удары непосредственно по кольцу. Допускается нанесение легких ударов по кольцу только через втулку из мягкого металла.

Тепловые посадки применяют для качественного монтажа. Нагрев проводят в масляных ваннах или с помощью электроиндукционных установок. При монтаже подшипников открытого типа с цилиндрическим отверстием на вал с натягом, подшипник погружают в ванну с чистым минеральным маслом, обладающим высокой температурой вспышки, нагретым до 80...90 °С, и выдерживают в течение 15...20 минут. При монтаже подшипников с защитными шайбами и постоянно заложенной смазкой, их нагрев до той же температуры проводят в термостате.

Температура нагрева подшипника:

$$T = T_{ном} + k \cdot i / \alpha \cdot d ,$$

где $T_{ном}$ — температура помещения; k — коэффициент, учитывающий условия сборки ($k = 2...3$ — при нагреве, $k = 1,5...2$ — при охлаждении); i — значение натяга, определяемое посадкой; α — коэффициент линейного расширения детали ($\alpha = 10...12 \cdot 10^{-6}$ 1/град); d — диаметр контактирующей поверхности.

Нагрев открытым пламенем может сопровождаться местными деформациями, приводящими к температурным напряжениям, микротрещинам, изменению исходной структуры и физико-механических свойств материалов сопрягаемых поверхностей.

Нагретый подшипник устанавливают на вал и доводят до места наибольшим усилием. При этом сторона подшипника, на которой нанесено заводское клеймо, должна быть снаружи.

Для монтажа крупногабаритных подшипников целесообразным является применение гидравлического распора, обеспечивающего качественную установку подшипника, отсутствие каких-либо повреждений монтажных поверхностей и высокую производительность. Этот способ рекомендуется для монтажа подшипников с внутренним коническим отверстием диаметром более 120...150 мм.

Охлаждение вала повышает предел прочности и твердость сталей, не меняя их пластических свойств. Исключение составляют стали с остаточ-

ным аустенитом (стали легированные вольфрамом, ванадием, молибденом — работающие при ударных нагрузках). Мартенситное превращение таких сталей начинается при положительных температурах, заканчивается при отрицательных. Сопровождается необратимым увеличением объема и посадочного диаметра. Например, превращение 10 % аустенита в мартенсит вызывает увеличение диаметра 100 мм вала примерно на 130 мкм.

При посадке подшипника в корпус с натягом, рекомендуется перед монтажом предварительно охладить подшипник жидким азотом ($-160\text{ }^{\circ}\text{C}$) или сухим льдом либо нагреть корпус.

Наиболее целесообразными являются способы монтажа, при которых осуществляется одновременное и равномерное давление по всей окружности монтируемого кольца. При таких способах не возникает перекося монтируемого кольца. Для осуществления применяют трубы из мягкого металла, внутренний диаметр которых несколько больше диаметра отверстия кольца, а наружный немного меньше наружного диаметра кольца. На свободном конце трубы устанавливают заглушку со сферической наружной поверхностью, к которой прилагают усилие при монтаже.

Усилие при монтаже следует создавать с помощью механических либо гидравлических прессов и приспособлений. При отсутствии механических и гидравлических приспособлений и монтаже с небольшими натягами подшипников малых размеров, допустимо нанесение несильных ударов молотком через монтажную трубу с заглушкой.

При любых способах монтажа, особенно при монтаже с помощью молотка, необходимо тщательно следить за обеспечением равномерного, без перекося, осевого перемещения кольца. Наличие перекося при монтаже приводит к образованию задиров на посадочной поверхности, неправильной установке подшипника, вызывающей сокращение срока его службы, а в отдельных случаях — разрыв монтируемого кольца.

Регулировочные операции

Двухрядные сферические шариковые и роликовые подшипники с коническим отверстием устанавливают на цилиндрическом валу с помощью крепежных и стяжных втулок, а на валах с конической шейкой — непосредственно на шейку вала. Монтаж подшипников с диаметром отверстия до 70 мм и нормальными натягами целесообразно осуществлять с помощью монтажной втулки, навертываемой на резьбовой конец вала. Нажимная часть воздействует на торец крепежной втулки или непосредственно на торец внутреннего кольца (при монтаже без крепежных и стяжных втулок). Подшипники с диаметром отверстия свыше 70...100 мм следует монтировать гидравлическими методами. По мере осевого продвижения крепежной втулки внутреннее кольцо подшипника деформируется (расширяется), радиальный зазор уменьшается. Радиальный зазор

необходимо контролировать с помощью шупа. Допустимое минимальное значение радиального зазора после сборки узла для подшипников, изготовленных с зазорами нормальной группы, ориентировочно может быть определено по формуле:

$$S_{min} = d/3000,$$

где d — номинальный диаметр отверстия подшипника, мм.

При монтаже игольчатого подшипника без сепаратора, последняя игла должна входить с зазором, равным от 0,5 до 1 диаметра иглы. Иногда для выполнения этого условия устанавливают последнюю иглу с меньшим диаметром.

В процессе установки подшипников (особенно воспринимающих осевые усилия) с помощью шупа толщиной от 0,03 мм или по световой щели следует убедиться в плотном и правильном прилегании торцов колец подшипника к торцам заплечиков. Аналогичной проверке должны быть подвергнуты противоположные торцы подшипников и торцы прижимающих их в осевом направлении деталей.

Необходимо проверить правильность взаимного расположения подшипников в опорах одного вала. Вал после монтажа должен вращаться от руки легко, свободно и равномерно.

Осевой зазор радиально-упорных и упорных подшипников устанавливают осевым смещением наружного и внутреннего колец с помощью прокладок, гаек, распорных втулок. Для проверки осевого зазора в собранном узле к торцу выходного конца подводят измерительный наконечник индикатора, укрепленного на жесткой стойке. Осевой зазор определяют по разнице показаний индикатора при крайних осевых положениях вала. Вал смещают в осевом направлении до полного контакта тел качения с поверхностью качения соответствующего наружного кольца.

Для повышения точности вращения, особенно в быстроходных узлах, например, электрошпинделях для шлифования, зазоры в радиально-упорных подшипниках выбирают, создавая стабильный натяг на подшипники. Это достигается приложением к вращающемуся кольцу подшипника осевого усилия через тарированную пружину. При этом тела качения точно фиксируются на дорожках качения.

Для предотвращения «закусывания» крупных подшипников при монтаже или в процессе эксплуатации, перед установкой их в разъемные корпуса, допускается проводить пришабривание поверхностей полуотверстий в местах разреза. Полноту прилегания крупных подшипников к посадочным местам в разъемных корпусах проверяют с помощью калибра и краски (отпечатки краски должны составлять не менее 75 % общей посадочной площади). В разъемных корпусах с помощью шупа проверяют также плотность и равномерность прилегания основания крышки (зазор не более 0,03...0,05 мм).

В собранном узле необходимо проверить наличие зазоров между вращающимися и неподвижными деталями. Особое внимание следует обратить на наличие зазоров между торцами неподвижных деталей и торцами сепараторов, которые иногда выступают за плоскость торцов колец. Проверяют совпадение проточек для подачи смазки в корпусах со смазочными отверстиями в наружных кольцах подшипников.

Для подшипников с цилиндрическими роликами и без бортов после монтажа проверяют относительное смещение наружного и внутреннего кольца в осевом направлении. Оно не должно быть более 0,5...1,5 мм для подшипников с короткими роликами и более 1...2 мм — для подшипников с длинными роликами (большие значения — для подшипников больших размеров).

Пробные запуски

После завершения сборочных операций и введения в подшипниковые узлы смазочного материала проверяют качество монтажа подшипников пробным пуском сборочной единицы на низких оборотах без нагрузки. При этом прослушивают шум вращающихся подшипников с помощью стетоскопа. Прослушивая подшипники, необходимо учитывать особенности узла и природу шума. Кроме дефектов подшипниковых узлов, ненормальный шум может быть вызван зубчатыми передачами, соединительными муфтами. Окончательное заключение о причинах ненормального шума можно сделать после тщательной проверки и прослушивания работы всех деталей механизма.

Другим показателем качества и стабильности работы подшипникового узла является температура. При обычных условиях работы температура подшипника не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 30°C. Причиной повышенной температуры может быть малый зазор в подшипнике, чрезмерно большой натяг, недостаток смазки, увеличенный момент трения вследствие износа рабочих поверхностей подшипника или взаимного перекоса колец. В течение 1...2 дней после смазывания (в том числе повторного) имеет место некоторое повышение температуры подшипника.

4.4. Примеры монтажных схем подшипников качения

При работе с подшипниками рационально использовать для их транспортировки различные приспособления (рис. 4.5): подпружиненные захваты, петли из мягкой проволоки и ленты. Монтаж подшипников с внутренним диаметром до 80 мм можно осуществлять посредством молотка и монтажной втулки. При этом усилие при посадке с натягом на вал должно передаваться через внутреннее кольцо подшипника, а при посадке с натягом в корпус — через наружное.

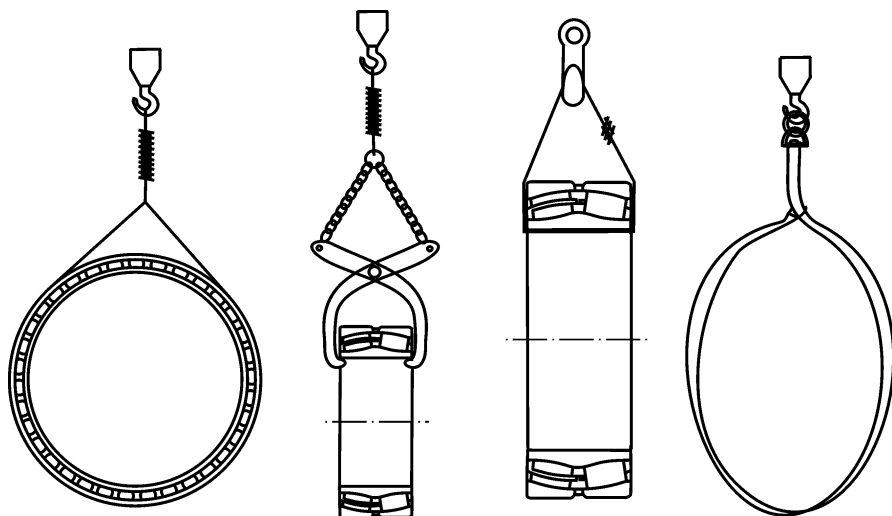


Рис. 4.5. Приспособления для транспортирования подшипников

Если с натягом устанавливается внутреннее кольцо подшипника, то сначала монтируют подшипник на валу (рис. 4.6).

При одновременной посадке с натягом на вал и в корпус усилие монтажа необходимо передавать на оба кольца подшипника (рис. 4.7).

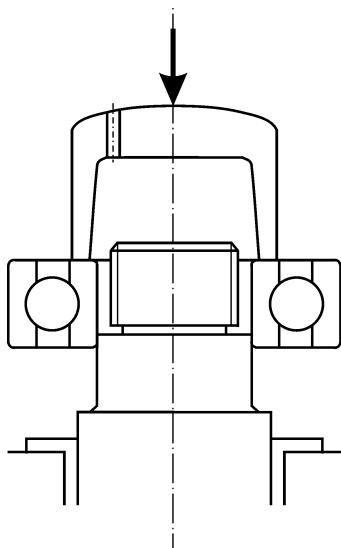


Рис. 4.6. Установка с натягом внутреннего кольца подшипника

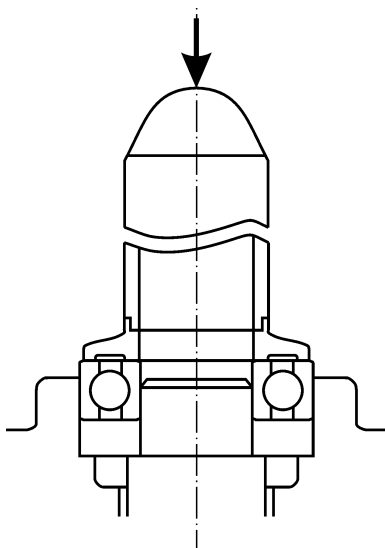


Рис. 4.7. Передача усилий монтажа на оба кольца подшипника

Усилие, необходимое для монтажа, можно значительно уменьшить посредством нагрева подшипника в масляной ванне (рис. 4.8).

Для нагрева подшипников широко применяются электрические плитки и индукционные нагреватели. Температура нагрева обычно превышает температуру сопрягаемой детали на 80...90°С, но, во избежание изменений в структуре металла, она не должна превышать 125°С. Запрещается применять открытое пламя для нагрева подшипников.

Монтаж подшипников с внутренним диаметром до 80 мм на коническую шейку вала можно осуществлять завинчиванием стопорной гайки накидным ключом (рис. 4.9).

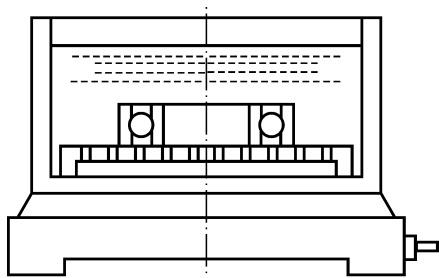


Рис. 4.8. Нагрев подшипника в масляной ванне

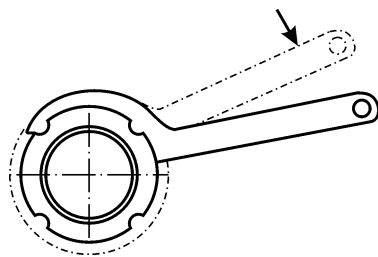


Рис. 4.9. Завинчивание стопорной гайки накидным ключом

Подшипники с внутренним диаметром свыше 50 мм можно монтировать на коническую шейку вала гидравлическим способом. Гидравлическая гайка навинчивается на вал (рис. 4.10), а при отсутствии резьбы — крепится на валу при помощи вспомогательных деталей.

При этом поршень гайки устанавливается с упором во внутреннее кольцо подшипника. Последующая подача масла разжимает поршень и гайку, обеспечивая посадку подшипника с натягом на вал и соответствующее уменьшение зазора в подшипнике. После этого гайку снимают и проводят стопорение подшипника на валу.

Подача масла под давлением на сопрягаемые поверхности вала

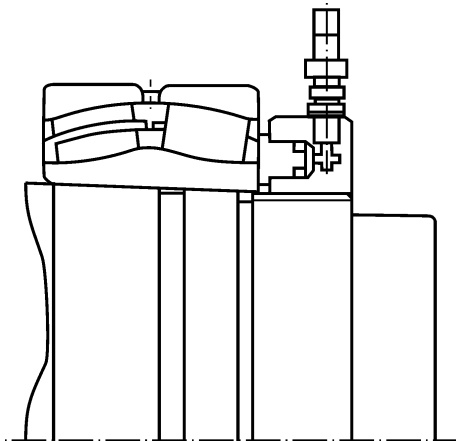


Рис. 4.10. Монтаж при помощи гидравлической гайки

и подшипника облегчает завинчивание гайки в процессе монтажа на коническую шейку вала (рис. 4.11).

Наиболее эффективным способом монтажа подшипников с коническим отверстием является подвод масла под давлением при одновременном использовании гидравлической гайки (рис. 4.12).

Подшипники на закрепительных и стяжных втулках всегда устанавливаются с натягом. Величина натяга определяется величиной осевого смещения кольца подшипника относительно поверхности втулки. Смещение кольца при монтаже подшипника на стяжной втулке проводят завинчиванием шлицевой гайки (рис. 4.13) или перемещением поршня гидравлической гайки (рис. 4.14).

Процесс монтажа в этом случае аналогичен установке подшипника на коническую шейку вала, но с тем отличием, что отсутствует возможность подачи масла под давлением на сопрягаемые конические поверхности.

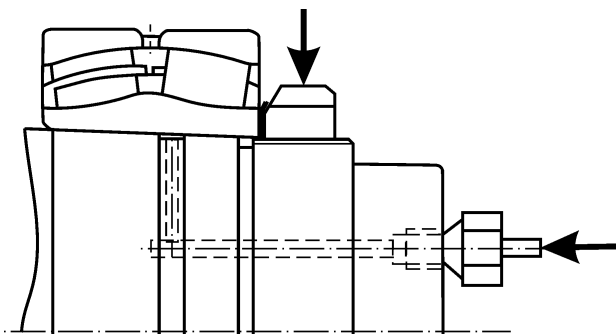


Рис. 4.11. Подача масла на сопрягаемые поверхности

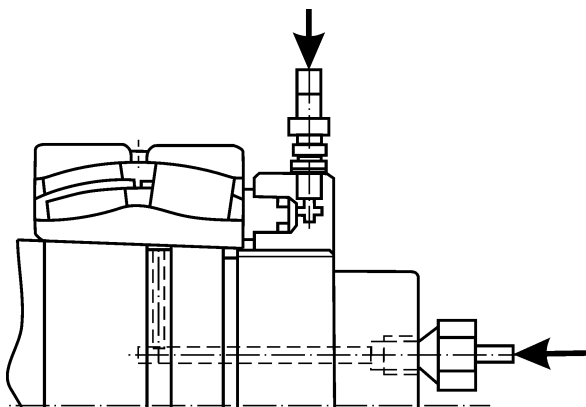


Рис. 4.12. Подвод масла и использование гидравлической гайки

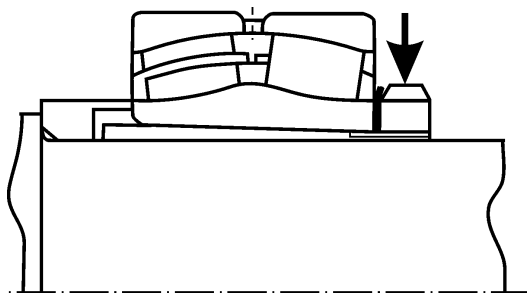


Рис. 4.13. Смещение кольца завинчиванием шлицевой гайки

В случае монтажа подшипника на стяжной втулке, последняя запрессовывается между шейкой вала и отверстием подшипника. При этом возможны различные схемы проведения процесса: использование молотка и монтажной втулки (рис. 4.15); навинчивание шлицевой гайки на вал накидным ключом (рис. 4.16); запрессовка стяжной втулки поршнем гидравлической гайки, навинченной на вал (рис. 4.17), на стяжную втулку с упором в разъемное монтажное кольцо (рис. 4.18).

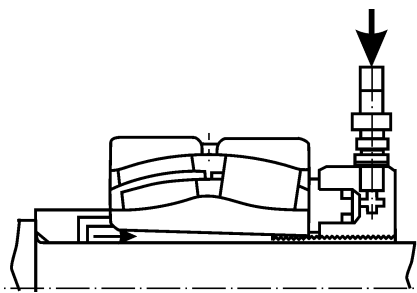


Рис. 4.14. Смещение кольца перемещением поршня гидравлической гайки

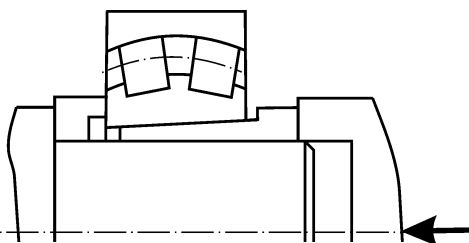


Рис. 4.15. Использование молотка и монтажной втулки

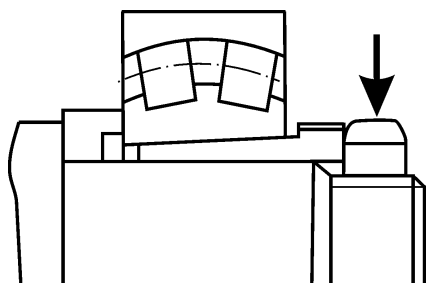


Рис. 4.16. Навинчивание шлицевой гайки на вал накидным ключом

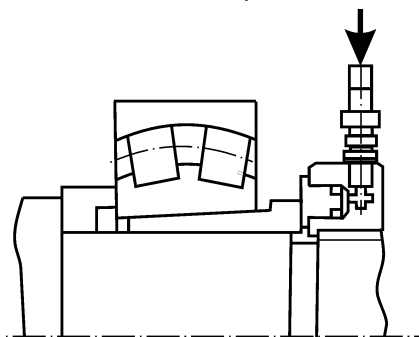


Рис. 4.17. Запрессовка стяжной втулки поршнем гидравлической гайки, навинченной на вал

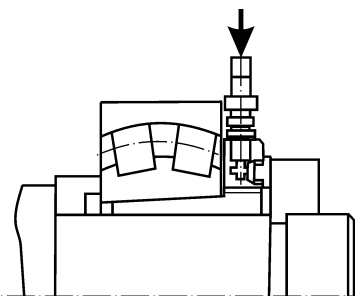


Рис. 4.18. Запрессовка на стяжную втулку с упором в разъемное монтажное кольцо

Для облегчения монтажа игольчатых подшипников без сепаратора дорожки качения наружного или внутреннего кольца подшипника, в зависимости от конструкции опоры, покрываются смазкой, на которую наклеивают иглы. Сборку узла осуществляют с помощью монтажной оправки, заходный диаметр которой на 0,1...0,3 мм меньше размера подшипника (рис. 4.19).

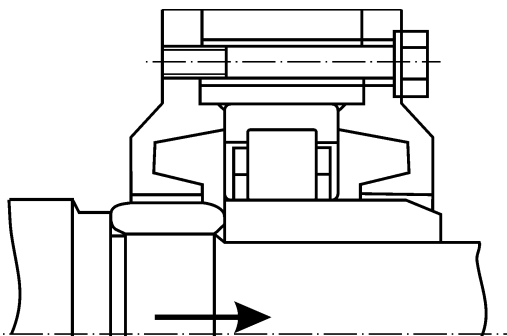


Рис. 4.19. Использование монтажной оправки

4.5. Примеры схем разборки подшипников качения

Технологические операции, связанные с разборкой подшипников качения, выполняют в следующих случаях: при замене подшипника, при замене межопорных деталей, при дефектах монтажа. Выполнение этих операций должно соответствовать требованиям: качество посадочных поверхностей не должно ухудшаться, трудоемкость разборки должна быть минимальной. При разборке подшипников используют: механические и гидравлические съемники, слесарный инструмент, гидравлические гайки, ударные ключи, оборудование для гидравлической распрессовки.

Монтаж и разборка подшипников, установленных с натягом, требуют приложения значительных усилий, из-за которых часто возникают повреждения подшипников и валов. Монтажные работы связаны с простыми оборудованиями. Эти особенности необходимо учитывать при выборе схемы монтажа и разборки.

Во всех случаях работы с подшипниками запрещается наносить удары молотком по кольцам, телам качения и сепаратору подшипника (рис. 4.20).

Разборку подшипников, установленных с натягом непосредственно на шейку вала (рис. 4.21) или в корпус (рис. 4.22), лучше всего проводить, используя ручной или гидравлический пресс. При этом усилие передается тому кольцу подшипника, которое установлено с натягом.

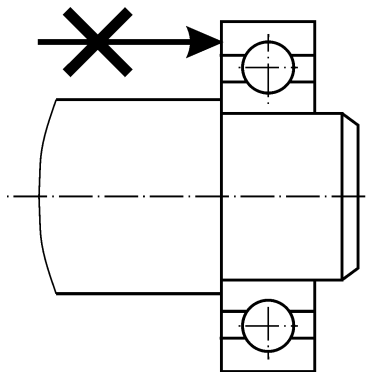


Рис. 4.20. Способ повреждения тел качения

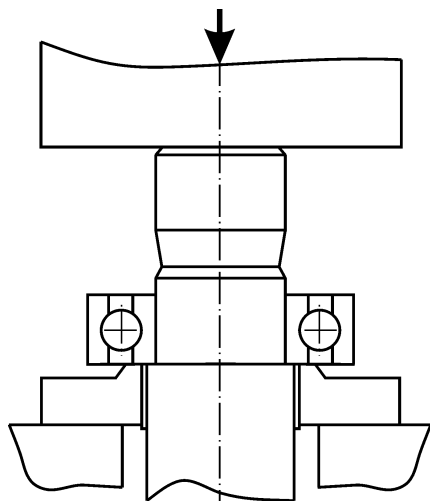


Рис. 4.21. Разборка подшипников, установленных с натягом на шейку вала

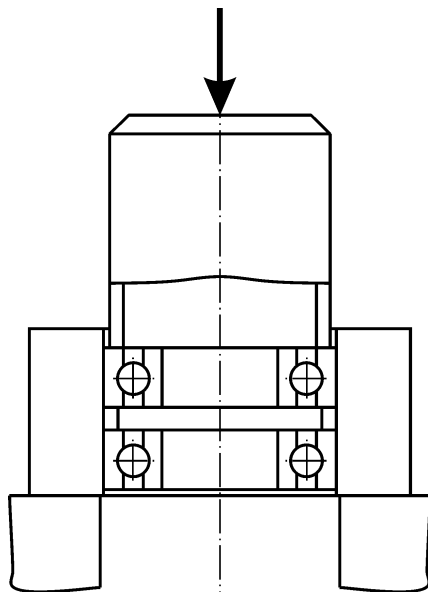


Рис. 4.22. Разборка подшипников, установленных с натягом в корпус

Для разборки подшипникового узла можно использовать приспособление (рис. 4.23), которое крепится к корпусу через отверстия, предназначенные для крепления крышки. Усилие передается через гайку на наружное кольцо подшипника, извлекая его вместе с валом из корпуса.

Для разборки подшипников с вала при помощи механических съемников на валу предусматриваются выемки (рис. 4.24).

Если захваты съемника не достают до борта внутреннего кольца подшипника, возможно приложение усилия через смежную деталь (рис. 4.25).

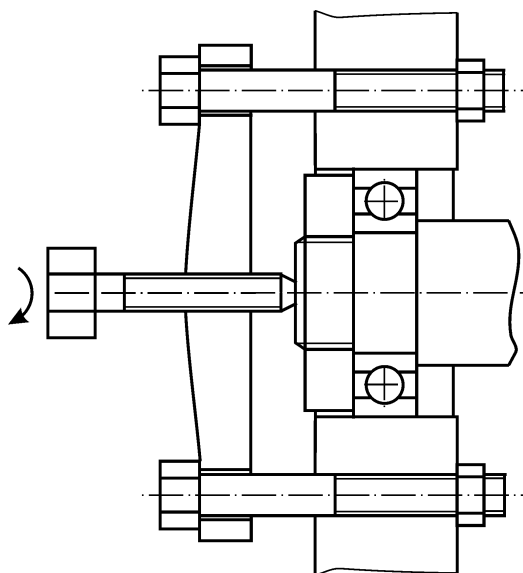


Рис. 4.23. Извлечение подшипника из корпуса

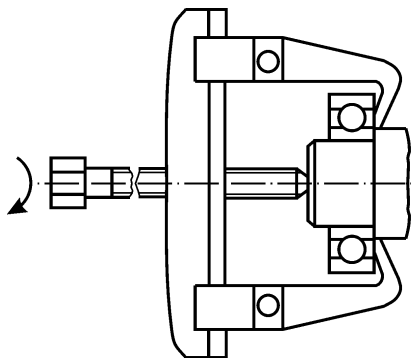


Рис. 4.24. Разборка узла при помощи механического съемника

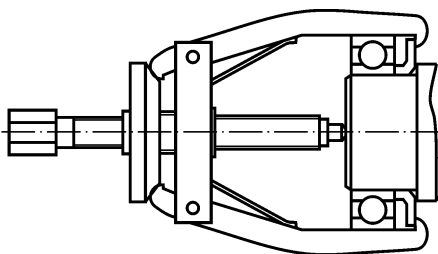


Рис. 4.25. Схема приложения усилия через смежную деталь

Если сзади подшипника имеется свободное пространство, применяют съемники, соединенные с различными вспомогательными разъемными деталями: стяжные полукольца (рис. 4.26), скобы и хомуты.

Как исключение, при отсутствии возможности использования захватов за внутреннее кольцо, допускается захват подшипника за наружное кольцо (рис. 4.27). При этом возрастает риск повреждения подшипника, и, в случае дальнейшего использования, разборку необходимо проводить при вращении захватов при фиксированном положении винта съемника.

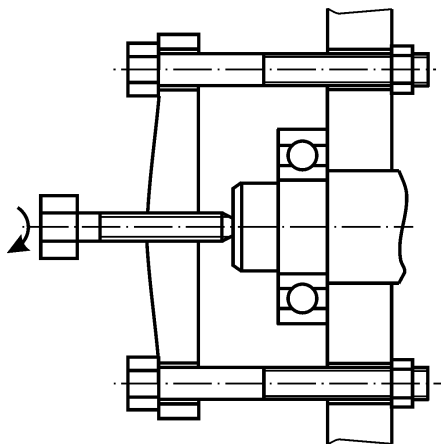


Рис. 4.26. Съемник, соединенный с вспомогательным кольцом

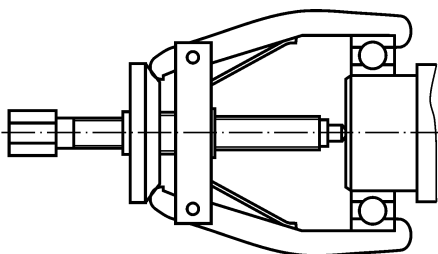


Рис. 4.27. Захват подшипника за наружное кольцо

Если подшипник упирается в запечник, то его можно извлечь из корпуса с помощью выколотки из мягкого металла.

Наличие на валах отверстий и канавок для подвода масла значительно облегчает проведение разборки (рис. 4.28). Масло под давлением подается и равномерно распределяется по сопряженным поверхностям подшипника и вала, снижая до минимума трение между ними.

Разборка подшипников с закрепительной втулкой может осуществляться с применением как шлицевой гайки и монтажной втулки (рис. 4.29), так и гидравлической гайки и упорного кольца (рис. 4.30).

Разборку подшипников со стяжной втулкой можно проводить с помощью шлицевой гайки, навинчиваемой насадным ключом на резьбу втулки (рис. 4.31).

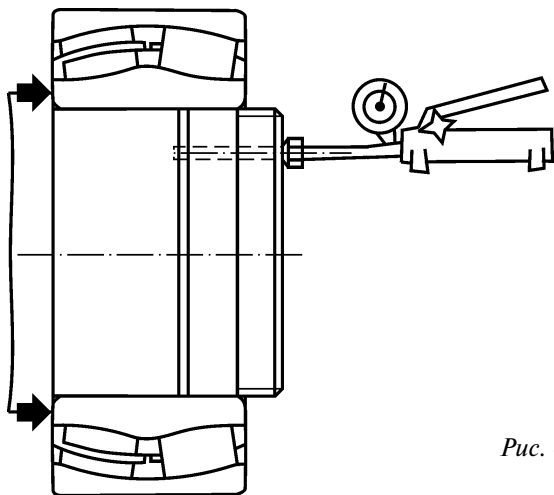


Рис. 4.28. Гидравлическая
распрессовка

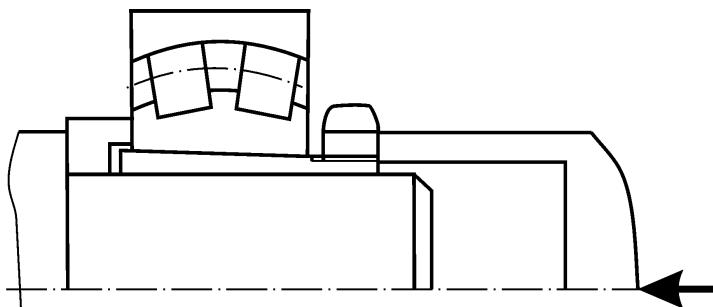


Рис. 4.29. Разборка подшипников с закрепительной втулкой
с применением шлицевой гайки и монтажной втулки

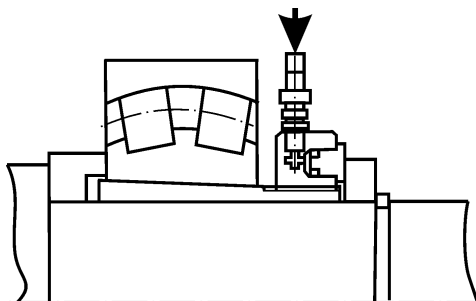


Рис. 4.30. Разборка подшипников с закрепительной втулкой с применением гидравлической гайки и упорного кольца

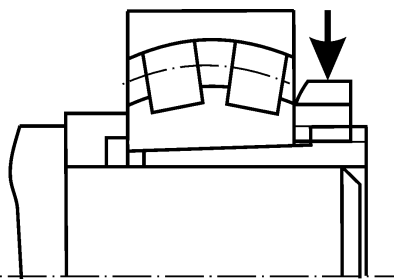


Рис. 4.31. Разборка подшипников со стяжной втулкой с помощью шлицевой гайки и накидного ключа

В случае применения гидравлической гайки (рис. 4.32), поршень на-
давливает на внутреннее кольцо подшипника, смещая стяжную втулку так,
что натяг исчезает, и подшипник легко демонтируется.

Наличие отверстий и канавок для подвода масла в стяжной втулке об-
легчает проведение разборки. Масло под давлением разделяет сопряжен-
ные поверхности втулки и подшипника, а последующее навинчивание гайки
выталкивает стяжную втулку.

Разборка подшипников со стяжной втулкой упрощает применение
гидравлической гайки с одновременным подводом масла на сопряженные
поверхности подшипника и втулки (рис. 4.33).

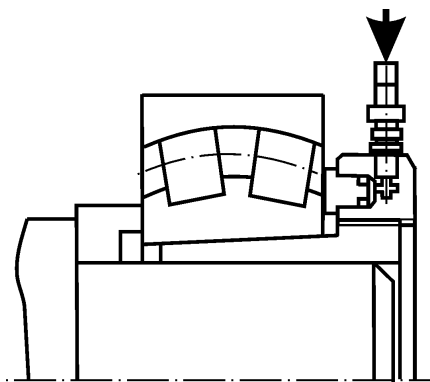


Рис. 4.32. Применение гидравлической гайки

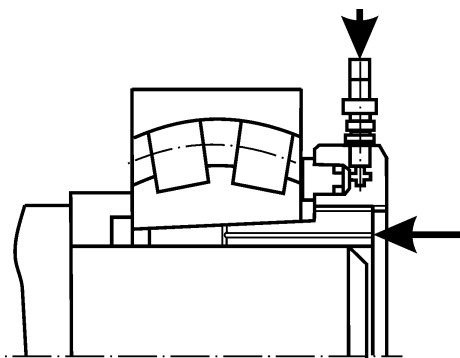


Рис. 4.33. Разборка подшипников со стяжной втулкой с применением гидравлической гайки и подводом масла на сопряженные поверхности подшипника и втулки

Разборка посредством индукционного нагрева (рис. 4.34) наиболее удобна для внутренних колец роликовых цилиндрических подшипников. Размеры нагревателя и форма его конструкции зависят от габаритных размеров и конструкции подшипникового узла.

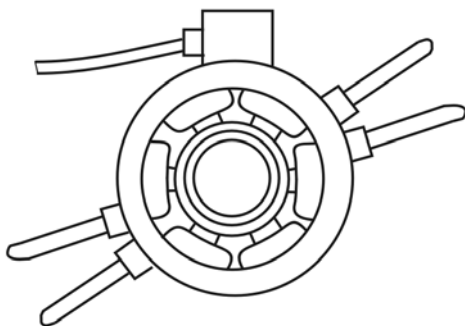


Рис. 4.34. Индукционный нагреватель

4.6. Сборка валов и зубчатых колес

Цилиндрические зубчатые передачи передают вращающий

момент между параллельными валами. Прямозубые колёса применяют при невысоких и средних скоростях, когда динамические нагрузки от неточности изготовления невелики, при необходимости осевого перемещения колёс. Основные виды цилиндрических зубчатых передач: прямозубая; косозубая; шевронная; внутренняя.

Косозубые колёса имеют большую плавность хода и применяются для ответственных механизмов при средних и высоких скоростях.

Шевронные колёса имеют достоинства косозубых колёс, уравновешивают осевые силы и используются в высоконагруженных передачах.

Колёса внутреннего зацепления вращаются в одинаковых направлениях и применяются обычно в планетарных передачах.

Передаточное отношение U определяется соотношением угловых скоростей (ω) или частот вращения (n) ведомого и ведущего колёс $U = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2$. Индексы 1 и 2 расставлены в порядке передачи механической энергии: 1 — ведущее (шестерня), 2 — ведомое (колесо).

Задавшись числом зубьев шестерни Z_1 , определяем число зубьев колеса:

$$Z_2 = U \cdot Z_1.$$

Передаточное число U ограничено габаритами зубчатой передачи (2...6). Ширина колеса задаётся коэффициентом ширины:

$$\psi_a = b / A_w,$$

где b — ширина венца; A_w — межосевое расстояние.

Характерные повреждения рабочих поверхностей

Усталостное выкрашивание — наиболее распространённое повреждение поверхности зубьев. На рабочих поверхностях появляются небольшие углубления, которые превращаются в раковины. Выкрашивание носит уста-

лостный характер и вызвано контактными напряжениями. Выкрашивание приводит к повышению контактного давления и нарушению работы передачи. В открытых передачах поверхностные слои истираются раньше, чем в них появляются усталостные трещины.

Для предупреждения выкрашивания необходимо повышать твёрдость материала термообработкой, либо повышать степень точности передачи, правильно назначать размеры из расчёта на усталость по контактными напряжениям.

Абразивный износ является основной причиной выхода из строя передач при плохой смазке. Это открытые передачи, а также закрытые, находящиеся в засорённой среде. У изношенных передач повышаются зазоры в зацеплении, усиливаются шум, вибрация, динамические перегрузки; искажается форма зуба; уменьшаются размеры поперечного сечения, прочность зуба. Основные меры предупреждения износа — повышение твёрдости поверхности зубьев, защита от загрязнения, применение специальных масел. В расчёте на контактную выносливость абразивный износ учитывается занижением допускаемых контактных напряжений.

Заедание происходит в высоконагруженных и высокоскоростных передачах. В месте контакта зубьев возникает повышенная температура, приводящая к молекулярному сцеплению металла с последующим отрывом. Вырванные частицы затем царапают трущиеся поверхности.

Обычно заедания происходят вследствие выдавливания масляной плёнки между зубьев. Меры предупреждения — правильный выбор сорта масла и охлаждение.

Излом зуба — поломка связана с напряжениями изгиба, имеющими пульсирующий характер. Излом зуба может привести к весьма тяжким последствиям, вплоть до разрушения валов и подшипников. Для предупреждения излома проводится расчёт зуба по напряжениям изгиба. Такой расчёт для закрытых передач выполняется в качестве проверочного после расчёта на контактные напряжения. Для открытых передач, где высока вероятность случайных перегрузок, этот расчёт выполняется как проектировочный. Усталостное выкрашивание, абразивный износ и заедание обусловлены **поверхностной прочностью**, а излом — **объёмной прочностью** зубьев.

Поскольку поверхностные повреждения — главный вид поломок для закрытых передач, то расчёт на контактную выносливость выполняют в качестве проектировочного; расчёт на изгиб — в качестве проверочного. Для открытых передач — наоборот.

Силы в зубчатом зацеплении

Движение передаётся зубчатым зацеплением посредством силы нормального давления в точке контакта зубьев F_n . Для определения силу нормального давления F_n раскладывают на три ортогональных проекции: осевую силу F_a , направленную параллельно оси колеса; радиальную силу F_r ,

направленную по радиусу к центру колеса; окружную силу F_r , направленную касательно к делительной окружности.

Легче всего вычислить силу F_r , зная передаваемый вращающий момент M_{BP} и делительный диаметр d_w :

$$F_t = 2M_{BP}/d_w.$$

Радиальную силу вычисляют, зная угол зацепления α_w :

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_w.$$

Осевая сила вычисляется через окружную силу и угол наклона зубьев β :

$$F_a = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Зная все проекции, можно вычислить и модуль нормальной силы:

$$F_n = (F_a^2 + F_r^2 + F_t^2)^{1/2} = F_t / (\cos \alpha_w \cos \beta).$$

Нормальная сила распределена по длине контактной линии. Зная длину l_Σ контактной линии, можно вычислить удельную погонную нормальную нагрузку:

$$q_n = F_n / l_\Sigma = F_t / (b \varepsilon_a k_\varepsilon \cos \alpha_w \cos \beta),$$

где ε_a — коэффициент перекрытия, k_ε — отношение минимальной длины контактной линии к средней.

Для цилиндрических колёс в зацеплении одноимённые силы равны по значению, но противоположны по направлению. Окружная сила для шестерни противоположна направлению вращения, окружная сила для колеса направлена в сторону вращения.

Расчёт зубьев на контактную выносливость — определение давлений на площадке контакта для эвольвентных профилей проводится с использованием формулы Герца-Беляева:

$$\sigma_\kappa = \sqrt{\frac{E_{np} \cdot q_n}{2\pi(1-\nu^2)\rho_{np}}}.$$

Здесь E_{np} — приведенный модуль упругости материалов шестерни и колеса $E_{np} = 2 E_1 E_2 / (E_1 + E_2)$; ρ_{np} — приведенный радиус кривизны зубьев $1/\rho_{np} = 1/\rho_1 \pm 1/\rho_2$, $\rho_{1,2} = 0,5 d_{w1,2} \sin \alpha_w$; ν — коэффициент Пуассона, q_n — удельная погонная нормальная нагрузка.

Расчёт зубьев на изгиб

Зуб представляют как консольную балку переменного сечения, нагруженную окружной и радиальной силами (изгибом от осевой силы пренебрегают). При этом окружная сила стремится изогнуть зуб, вызывая макси-

мальные напряжения изгиба в опасном корневом сечении, а радиальная сила сжимает зуб, уменьшая напряжённое состояние:

$$\sigma_A = F_t Y_H / bm.$$

Здесь b — ширина зуба, m — модуль зацепления, Y_H — коэффициент прочности зуба.

В отличие от эвольвентных зацеплений, где преобладает контактное качество, виток червяка скользит по зубу колеса. Червячные передачи имеют один недостаток: **высокое трение в зацеплении**, что ведёт к низкому КПД (на 20...30 % ниже, чем у зубчатых), износу, нагреву и необходимости применять дорогие антифрикционные материалы.

В червячных передачах движение передаётся только от червяка к колесу. Никакой вращающий момент, приложенный к колесу, не заставит вращаться червяк. Поэтому червячные передачи находят применение в подъёмных механизмах. Однозаходный червяк даёт наибольшее передаточное отношение. Наивысший КПД достигается при многозаходных червяках. Это связано с уменьшением трения за счёт роста угла трения. Основные причины выхода из строя червячных передач: поверхностное выкрашивание и схватывание; излом зуба.

Вследствие нагрева, вызванного трением, червячные передачи нуждаются в тепловом расчёте. Практика показывает, что механизм опасно нагревать выше 95°С. Допускаемая температура 65°С.

Оптимальная пара трения — «сталь по бронзе». Поэтому при стальном червяке червячные колёса должны выполняться из бронзовых сплавов. Однако цветные металлы дороги, и поэтому из бронзы выполняется лишь зубчатый венец, который крепится на сравнительно дешёвой стальной ступице. Червячное колесо — сборочная единица. Способы крепления венца: центробежное литьё в кольцевую канавку ступицы; крепление венца к ступице болтами за фланец; посадка с натягом и стопорение винтами для предотвращения взаимного смещения венца и ступицы.

Сборка зубчатых передач

Для зубчатых колес и передач предусматриваются степени точности: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 (обозначение приведено в порядке убывания степени точности). Предъявляются нормы по кинематической точности колеса, плавности работы и контакту зубьев. Кинематическая точность — полная погрешность угла поворота зубчатых колес за оборот. Плавность работы колеса определяют, проворачивая собранную передачу динамометрическим ключом. Нормы контакта зубьев определяют размеры пятна контакта сопряженных зубьев (табл. 4.4). Независимо от степени точности установлены нормы бокового (a_H) и радиального (a_p) зазоров: $a_H = (0,02...0,1) \cdot m$; $a_p = (0,15...0,3) \cdot m$ (табл. 4.5).

Таблица 4.4

Нормы контакта зубьев в цилиндрических передачах, %, не менее

Степень точности	По высоте	По длине	Степень точности	По высоте	По длине
3	65	95	8	40	50
4	60	90	9	30	40
5	55	80	10	25	30
6	50	70	11	20	25
7	45	60			

Таблица 4.5

Величина бокового зазора в зацеплении цилиндрических зубчатых передач

Межцентровое расстояние, мм	Боковой зазор, (мм) для зубчатых передач	
	3-й класс точности	4-й класс точности
До 100	0,1...0,35	0,15...0,45
100...200	0,12...0,45	0,17...0,6
200...400	0,16...0,6	0,21...0,8
400...800	0,24...0,85	0,29...1,1
800...1200	0,32...1,2	0,37...1,6
1200...1600	0,44...1,6	0,45...2,1
1600...2000	—	0,53...2,6

Боковой зазор в крупных зубчатых передачах большого модуля проверяют путем прокатывания между зубьями свинцовых проволочек, устанавливаемых по длине зуба. Диаметр проволочек составляет 1,4...1,5 величины бокового зазора. Каждую проволочку смазывают техническим вазелином и в виде П-образной скобки надевают на зуб. Толщину сплюснутых частей проволочек с обеих сторон зуба измеряют микрометром, что в сумме дает боковой зазор. Одновременно определяют непараллельность и перекос осей.

При проверке норм контакта зубьев, зубья меньшего колеса покрывают тонким слоем краски и поворачивают зубчатую пару, после чего осматривают следы прилегания на зубьях большого колеса. Основная причина неправильного прилегания — непараллельность и перекос осей отверстий в корпусе или погрешности в узле «зубчатое колесо — вал». Нагрев охватываемой детали выше температуры отпуска воспрещается.

Основные требования к точности сборки зубчатых передач

При монтаже и сборке зацеплений зубчатых передач предъявляются следующие требования по проверке правильности выполнения работ:

а) проверка заданного межцентрового расстояния, параллельности осей валов и отсутствие перекосов (рис. 4.35);

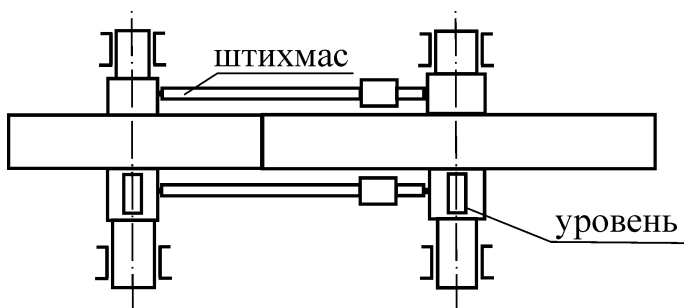


Рис. 4.35. Проверка параллельности валов

- б) проверка делительной окружности;
- в) радиальное и торцевое биение зубчатого колеса не должно превышать предельных величин;
- в) измерение бокового зазора;
- г) проверка толщины зуба;
- д) проверка установки колес;
- е) окончательная проверка зацепления на краску (рис. 4.36, 4.37).

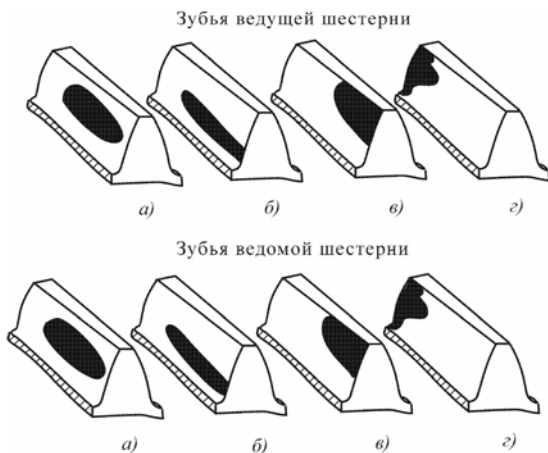


Рис. 4.36. Проверка при регулировке зацепления зубьев конической зубчатой передачи с помощью краски:

- а) правильно отрегулированное зацепление (четкий отпечаток краски, смещенный к тонкой части зуба); б) уменьшенный радиальный зазор; в) увеличенный радиальный зазор; г) осевое смещение колес (необходимо придвинуть ведущее колесо)

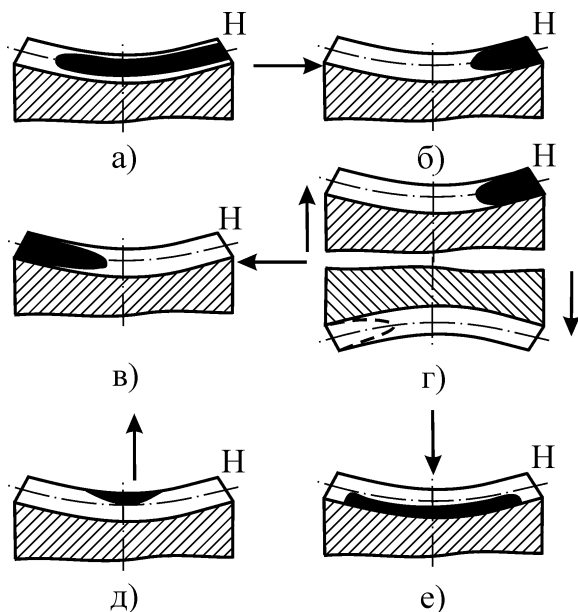


Рис. 4.37. Проверка правильности установки червячного колеса относительно червяка с помощью отпечатка краски на зубьях

(Н — место входа витка червяка в зубья червячного колеса);

а) правильное зацепление (пятно касания располагается симметрично и занимает 70...75 % поверхности зуба); б, в) червячное колесо сдвинуто в сторону от оси (стрелкой показано направление сдвига для устранения дефекта); г) червячное колесо перекошено; д) увеличенное межцентровое расстояние; е) уменьшенное межцентровое расстояние

В цилиндрических зубчатых передачах непараллельность и перекос валов не должны превышать (на каждые 1000 мм длины) величин, указанных в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Допустимые значения перекоса и непараллельности

Типы передач	Предельное значение, мм	
	непараллельности	перекоса
В редукторах	0,3	0,25
В открытых передачах при модуле:		
до 6 мм	1,0	0,8
от 6 до 14 мм	0,8	
от 14 до 20 мм	0,6	0,5

Непараллельность валов может быть установлена штангенциркулем, при помощи натянутой струны и рейсмуса, штихмассом, а перекося валов — уровнем с ценой деления 0,1 мм на 1000 мм длины.

В червячных редукторах 2Ч-40, 2Ч-63, 2Ч-80 для экономии фрез и простоты сборки редукторов начальное пятно контакта расположено в средней части (рис. 4.38, а). Это является основной причиной зарождения «задилов» на поверхности зубьев, интенсивного выделения тепла, понижения к. п. д. редуктора. Долговечность таких передач существенно снижается.

В редукторах 2Ч-40М, 2Ч-63М, 2Ч-80М используются червячные передачи с оптимальным расположением начального пятна контакта у торца зубьев на выходе витка червяка из зацепления (рис. 4.38, б) — предпосылка высокой работоспособности, надежной и длительной работы модернизированных червячных редукторов.

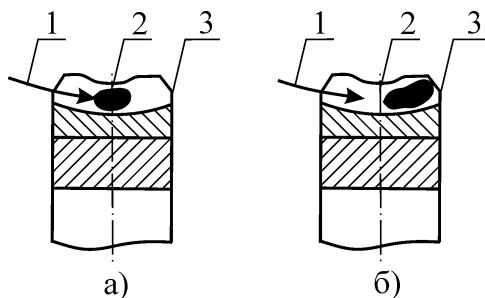


Рис. 4.38. Варианты расположения начального пятна контакта на боковой поверхности зубьев червячного колеса (для правого направления витков червяка): а) начальное пятно в типовых конструкциях редукторов 2Ч-40, 2Ч-63, 2Ч-80; б) оптимальное начальное пятно контакта, применяемое в модернизированных редукторах 2Ч-40М, 2Ч-63М, 2Ч-80М; 1 — направление вращения червяка; 2 — средняя плоскость червячного колеса; 3 — торец зубьев со стороны выхода витков червяка из зацепления с зубом колеса

4.7. Центрирование валов

Соединяемые между собой механизмы будут правильно работать в том случае, если их валы будут установлены так, чтобы упругие линии валов являлись продолжением одна другой без смещения и излома в плоскости сопряжения. Установка валов в соответствии с этими требованиями в практике получила название центровки.

Естественный прогиб валов вызывает необходимость устанавливать их с определенным уклоном к горизонту.

Установку валов можно выполнить двумя способами. По первому способу подшипники устанавливают так, чтобы шейки валов по обе стороны муфты были горизонтальны (рис. 4.39, а). Уровень, установленный на шей-

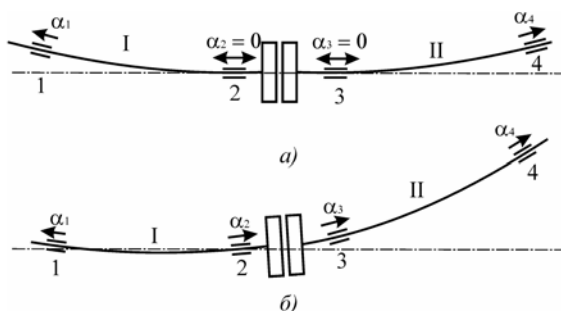


Рис. 4.39. Различные способы установки линии валов двухмашинного агрегата

ках 2 и 3 валов I и II, дает нулевые показания, $\alpha_2 = \alpha_3 = 0$; в этом случае шейки 1 и 4 будут иметь некоторый подъем, величина которого будет зависеть от характера упругой линии валов.

По второму способу вал I одной из машин (рис. 4.39, б) устанавливаются горизонтально. При этом уро-

вень, установленный на шейках 1 и 2 вала, дает показания ($\alpha_1 = \alpha_2$), одинаковые по величине, но обратные по знаку, а уровень, установленный на шейке 3, должен дать такие же показания, что и на шейке 2, $\alpha_2 = \alpha_3$; шейка 4 имеет подъем. При значительной величине подъема этого конца вала горизонтальная составляющая веса ротора машины II при работе агрегата будет нажимать на подшипник машины I. Учитывая этот недостаток, обычно, установку валов проводят по первому способу.

Устанавливая линии валов многомашинных агрегатов, стремятся к тому, чтобы подъем крайних подшипников агрегата был одинаковым, самый тяжелый ротор агрегата, обычно, располагают горизонтально.

Уклон шейки вала измеряют уровнем при четырех положениях вала, поворачивая вал на 90° , в каждом положении делают два измерения; при втором измерении уровень поворачивают на 180° . За величину уклона принимают среднеарифметическое значение восьми показаний. Такое определение уклона шеек валов необходимо во избежание ошибки при искривлении вала, или отклонении оси шейки от оси вращения (о таких дефектах свидетельствуют значительные изменения показаний уровня, установленного на шейке вала, при различных положениях ротора).

Для проверки установки валов агрегата, находящегося в эксплуатации, необходимо снять все крышки подшипников и проверить уровнем уклоны всех шеек валов. Цена деления, применяемых для этого уровней, соответствует, обычно, подъему 0,1 мм на 1 м. Отсутствие изменений в уклонах, при сравнении полученных данных с данными монтажного формуляра, указывает на сохранение центровки. Если же обнаружатся расхождения в величинах или в направлениях уклонов, то необходимо проверить центровку агрегата. Если при изменении уклонов шеек центровка не нарушена, то имеет место неравномерная осадка фундамента.

Оси вращения двух валов имеют параллельное смещение и угловой излом. Обычно **несоосность** — это комбинация двух указанных видов. В процессе работы, даже при использовании упругих муфт, перекосы приводят к увеличению нагрузки на опорные части машины, повышению вибрации и другим отрицательным эффектам.

Влияние несоосности

1. На подшипники — приводит к возникновению дополнительных сил. Повышение нагрузки на подшипники вследствие перекоса валов на 20 % сокращает расчетную долговечность подшипников на 50 %.

2. На уплотнения — приводит к износу уплотнений, увеличивает риск повреждения подшипников из-за проникновения грязи и вытекания смазочного материала.

3. На муфты и валы. Вибрации, вызванные несоосностью, вызывают повреждения муфт (перегрев, ослабление, поломка болтов) и валов.

4. На потребление энергии. Потребление энергии двигателем может возрасти до 20 % вследствие перекосов.

Точность выверки. Для того, чтобы избежать отрицательных эффектов, перекосы валов должны быть в пределах установленных допусков (табл. 4.7, 4.8). Высокоскоростные машины требуют точной выверки.

Таблица 4.7

Допуски на несоосность валов

Частота вращения, об./мин.	Угловая несоосность		Параллельная несоосность	
	мм/100 мм	0,001"/1"	мм	0,001"
0...1000	0,1	1	0,13	5,1
1000...2000	0,08	0,8	0,10	3,9
2000...3000	0,07	0,7	0,07	2,8
3000...4000	0,06	0,6	0,05	2,0
4000...6000	0,05	0,5	0,03	1,2

Для центрирования валов используют метод грубой выверки при помощи линейек, щупов, клиновых щупов и методы точной выверки при помощи индикаторов часового типа или лазерного центровщика. Обычно в качестве «неподвижной» выбирается часть механизма, положение которой в процессе выверки не меняется (насос, вентилятор), «подвижная» часть перемещается для устранения несоосности — двигатель.

Комплект для центровки включает: измерительные индикаторы; вычислительное устройство; приспособления для установки индикаторов на валах; комплект прокладок; инструмент для измерения линейных размеров; приспособления для подъема и перемещения центрируемого узла.

Таблица 4.8

Допуски на центровку при диаметре муфты 500 мм

Тип соединяемой муфты	Разность средних величин зазоров, мм	
	по окружности (радиальные зазоры)	по торцу (осевые зазоры)
Жесткая	0,04	0,05
Полужесткая	0,06	0,05
Пружинная	0,06	0,06
Кулачковая	0,08	0,08
Зубчатая	0,10	0,08

Примечание: указанные отклонения даны без учета влияния на центровку тепловых расширений фундамента и корпусов подшипников по высоте или возможных деформаций опор.

Различают выверку ременных передач и центрирование валов.

Точная выверка ременных передач обеспечивает: уменьшение трения и потребления энергии; уменьшение вибрации и шума; продление срока службы подшипников и ремней; повышение безопасности; уменьшение простоев; снижение затрат на ремонты.

Виды перекоса ремней: угловой перекос валов; угловой перекос поверхностей шкивов; параллельное смещение шкивов.

Сборка соединительных муфт

Соосность горизонтальных валов определяется центровкой по полумуфтам. Радиальные и осевые зазоры при центровке измеряют при исходном положении 0° и после поворота валов на 90° , 180° и 270° в направлении рабочего вращения. При каждом положении полумуфт проводят замер радиального и осевого зазора между полумуфтами. Для контроля правильности измерений, после четырех замеров необходимо установить полумуфты в первоначальное положение (0°). Результаты повторных измерений в этом положении должны совпадать с первоначальными, в противном случае следует найти причину отклонения и устранить. Результаты измерений заносят в круговую диаграмму. Правильность измерения проверяют, сопоставив суммы результатов, полученных при измерении на противоположных сторонах полумуфт. Эти суммы должны быть равны между собой. Допускаемое отклонение не должно превышать 0,02 мм.

Полученные замеры по торцу и окружности можно привести к нулю путём вычитания из полученных результатов наименьшего зазора. В случае неудовлетворительных результатов центровки и необходимости перемещения валов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, определяют величины перемещения (рис. 4.40):

$$x_1 = A \cdot (L + l) / d_m; y_1 = A \cdot l / d_m; x_2 = y_2 = R / 2; x = x_1 + x_2;$$

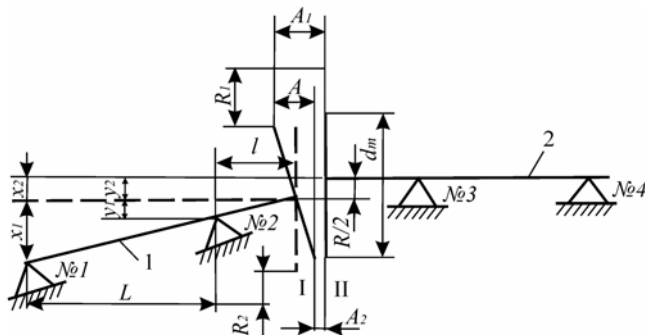


Рис. 4.40. Выверка соосности горизонтальных валов:

I, II — плоскости замеров;

1 — вал прицентровываемый; 2 — вал базовый; №1...4 — подшипники

$$y = y_1 + y_2; x = A \cdot (L + l) / d_m + R/2; y = A \cdot l / d_m + R/2,$$

где $R = R_1 - R_2$ — расцентровка валов по окружности; $A = A_1 - A_2$ — расцентровка валов по торцу.

Порядок центрирования

Достижимая в промышленных условиях точность центрирования составляет 0,005...0,1 мм. Целью центровки является установка двигателя так, чтобы его вал являлся продолжением вала механизма.

Перед установкой приспособлений для центровки полумуфты должны быть разъединены, чтобы не было касаний между полумуфтами. Затем проверяют свободное проворачивание каждого из роторов и убеждаются в отсутствии задеваний.

Для измерения радиальных и осевых зазоров применяют приспособления различных конструкций, укрепляемых на полумуфтах или на валах вблизи полумуфт (рис. 4.41). Приспособления должны обладать достаточной жесткостью для того, чтобы не прогибаться при выполнении измерений и под действием собственного веса. Для повышения точности измерений устанавливают индикаторы перемещения (точность 0,01 мм).

Устанавливают роторы так, чтобы риски на обеих полумуфтах совпадали, укрепляют центровочное приспособление. Внешнюю скобу устанавливают на полумуфте выверенной машины. После установки индикаторов необходимо проверить надежность закрепления и отсутствие заеданий в механизме индикатора. Для этого слегка оттягивают измерительный стержень индикатора и возвращают на место. Стрелка индикатора должна при этом возвращаться на установленный отсчет. При изме-

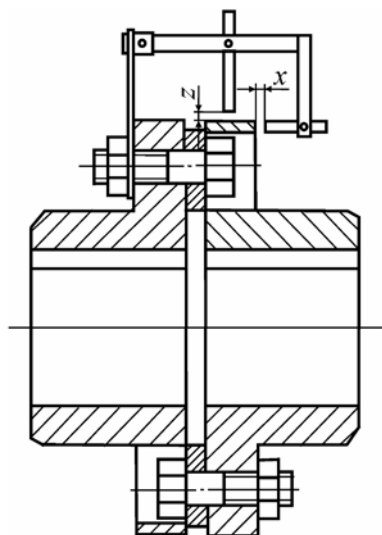


Рис. 4.41. Приспособление для центровки

рениях необходимо периодически убеждаться в том, что все скобы не касаются каких-либо частей машины; не следует касаться скоб руками.

Для измерения радиальных и осевых зазоров оба ротора одновременно поворачивают от исходного положения (0°) на 90° , 180° и 270° в направлении вращения приводного двигателя или механизма и измеряют зазоры в каждом из этих четырех положений и при совпадении рисок. Чтобы измерения были точными, их должно производить одно лицо. Легкие роторы можно поворачивать вручную или рычагом, тяжелые приходится поворачивать краном.

Центрировать можно при соединенных и при разъединенных муфтах. Проверка центровки при соединенных муфтах требует меньше времени

и обеспечивает совместный поворот валов. При центровке с разъединенными муфтами нужно очень тщательно проводить совместный поворот валов, чтобы риски, нанесенные на втулках полумуфт, совпадали как при отсчете, так и при проворачивании валов.

Вначале проводят совмещение осей в вертикальном направлении, а затем в горизонтальном.

Пример

Пусть вал прицентровываемого механизма и скоба для измерения осевых зазоров имеют размеры, показанные на рис. 4.42 (а), т. е. $l_1 = 350$ мм, $l_2 = 2000$ мм, $r = 400$ мм. При измерении радиальных и осевых зазоров получены данные, приведенные на рис. 4.42 (б), что соответствует расположению валов, показанному на рис. 4.42 (в); внешняя скоба установлена на полумуфте выверенной машины.

Пользуясь формулами, получим:

$$\begin{aligned} y_1 &= (a_1 - a_3)/2 + ((b_1 - b_3)/2)l_1/r = \\ &= (0,65 - 0,45)/2 + ((0,90 - 0,58)/2)350/400 = 0,24 \text{ мм}; \\ y_2 &= (a_1 - a_3)/2 + ((b_1 - b_3)/2)l_2/r = \\ &= (0,65 - 0,45)/2 + ((0,90 - 0,58)/2)2000/400 = 0,90 \text{ мм}; \end{aligned}$$

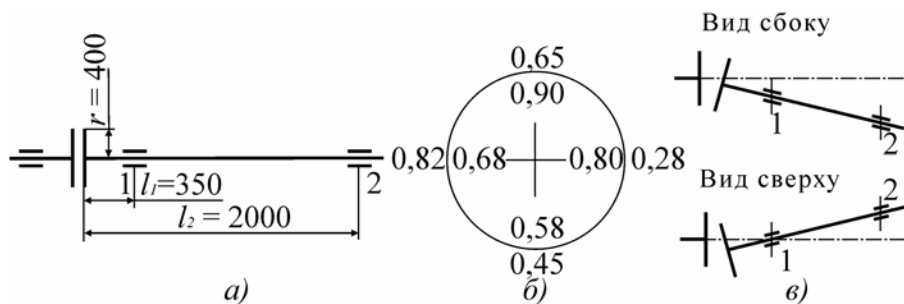


Рис. 4.42. Пример центровки при помощи одной пары скоб

$$\begin{aligned}
 x_1 &= (a_2 - a_4)/2 + ((b_2 - b_4)/2)l_1/r = \\
 &= (0,28 - 0,82)/2 + ((0,80 - 0,68)/2)350/400 = -0,22 \text{ мм}; \\
 x_2 &= (a_2 - a_4)/2 + ((b_2 - b_4)/2)l_2/r = \\
 &= (0,28 - 0,82)/2 + ((0,80 - 0,68)/2)2000/400 = 0,03 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Следовательно, подшипник 1 необходимо поднять вверх на 0,24 мм и передвинуть влево на 0,22 мм (знак «-»), а подшипник 2 поднять вверх на 0,90 мм и передвинуть вправо на 0,03 мм.

СМАЗКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

5.1. Виды трения

Для уменьшения потерь мощности на трение и снижения интенсивности изнашивания трущихся поверхностей, а также для предохранения их от заедания, задиров, коррозии и для лучшего отвода тепла, трущиеся поверхности деталей должны иметь надежное смазывание. **Смазывание** — подведение смазочного материала к поверхностям трения. **Смазочный материал** — материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания. Наиболее широко в технике используются жидкие и пластичные смазочные материалы. Менее распространены твердые и газообразные смазочные материалы.

Пластичные смазочные материалы применяют для смазывания подшипников качения при частоте вращения до 3000 мин.⁻¹ и температуре до 100°С. Большая часть подшипников качения (до 90 %) смазывается этими материалами. Преимущества: простая и дешевая конструкция подшипниковых узлов; лучшее уплотнение против проникновения влаги и загрязнения из внешней среды.

Жидкие масла применяются при высоких частотах вращения, превышающих допустимые для смазывания пластичной смазкой, а также при необходимости отвода тепла от узлов механизма. Используются также при необходимости смазывания ряда узлов: подшипников, уплотнений, зубчатых колес.

Твердые смазочные материалы применяют в виде порошков или покрытий. Это графит, дисульфид молибдена (MoS_2), имеющие чешуйчатое строение и малые усилия при смещении слоев относительно друг друга. Применяются при отрицательных температурах и при $t > 100$ °С.

Смазка — действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшается сила трения и (или) интенсивность изнашивания. **Изнашивание** — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (детали). **Износ** — результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы.

Основное назначение смазки состоит в образовании слоя из смазочного материала, разделяющего поверхности трения, и, благодаря этому, уменьшающие силы трения и износа. Главным свойством смазочных материалов яв-

ляется вязкость, характеризующая способность образовывать смазочный слой. Применительно к пластичным смазкам — это консистенция (пенетрация).

Между поверхностями трения при смазке возникает слой из смазочного материала, который сопряжен с трущимися поверхностями. Вследствие относительного движения деталей в смазочном слое возникают напряжения сдвига — отдельные слои смазочного слоя скользят относительно друг друга, определяя силу трения. Соответственно, вязкость — мера трения между слоями жидкости (рис. 5.1).

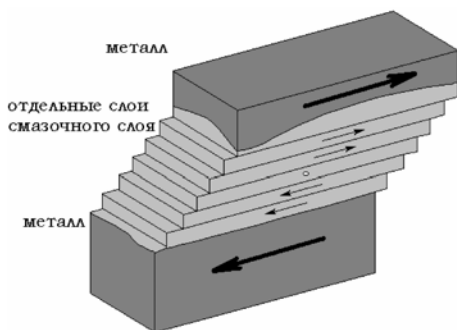


Рис. 5.1. Схема трения между отдельными слоями смазочного материала

Различают три режима смазывания: граничный, гидродинамический, контактно-гидродинамический. **Граничное смазывание** имеет место при недостаточной толщине смазочного слоя для разделения трущихся поверхностей (рис. 5.2). Данный режим возникает при: недостатке смазочного материала, недостаточной скорости перемещения сопряженных поверхностей, низкой вязкости масла. Следствием является металлический контакт сопряженных поверхностей, схватывание выступающих пиков шероховатости, в результате чего имеет место значительное трение, большой износ и разрушение сопряженных поверхностей.

Гидродинамическое смазывание возникает при полном разделении сопряженных поверхностей смазочным слоем (рис. 5.3). Трение в этом случае значительно ниже, отсутствует металлический контакт поверхностей трения. **Контактно-гидродинамический** режим возникает при упругом деформировании поверхностей в местах контакта, однако масло из зоны контакта не выдавливается. В зоне контакта вязкость масла резко возрастает, а после снятия нагрузки снова снижается до исходного значения.

При работе механизма масло постепенно загрязняется продуктами износа трущихся деталей. С течением времени масло стареет, свойства его ухудшаются. Главная причина старения масла — окисление. Скорость окисления в большой степени зависит от температуры, с увеличением температуры на 10°C скорость окисления увеличивается вдвое, соответственно вдвое сокращается срок службы масла. Приблизительно можно считать, что срок службы минерального масла составляет 30 лет при 30°C , 15 лет при 40°C и так далее. Если проводить качественный и количественный контроль продуктов износа и состояния смазочного материала, можно устано-

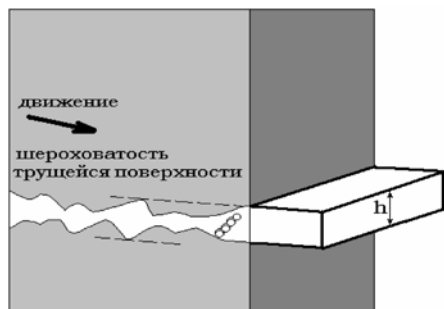


Рис. 5.2. Схема граничного режима смазывания

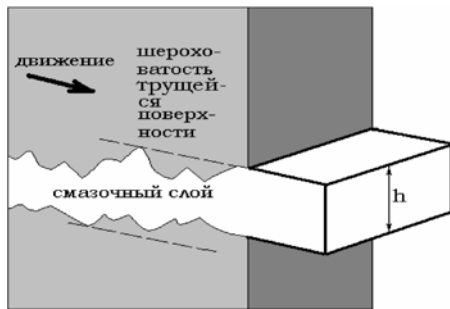


Рис. 5.3. Схема гидродинамического режима смазывания

вить источник поступления продуктов износа и продлить срок службы механизма при своевременной замене отработанного масла.

Значения коэффициентов трения скольжения приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Коэффициенты трения скольжения

Трущиеся поверхности	Коэффициент трения
Бронза по бронзе	0,2
Дерево по дереву	0,25...0,5
Сталь по стали	0,16
Подшипник скольжения	0,02...0,08
Подшипник жидкостного трения	0,001...0,003
Сталь по феродо	0,25...0,45
Фторопласт по стали	0,065...0,080
Резина (шины) по твердому грунту	0,4...0,6
Резина (шины) по чугуно	0,83
Медь по чугуно	0,27

Присадки

Вязкостные — изменяют вязкость при повышении температуры.

Моющие — удаляют загрязнения на стенках трубопровода.

Дисперсионные — понижают температуру застывания.

Противоизносные смеси. Антиокислительные. Антипенные.

Антизадирные — содержат серу, хлор, фосфор, образуют нестойкие соединения, защищающие поверхность металла от схватывания.

Синтетические масла обладают несколько большей текучестью, потому легче просачиваются через неплотности в соединениях. Течь сальника свидетельствует не об «агрессивности» масла, а о том, что рабочая кромка

манжета уже основательно изношена. Быстрое потемнение масла свидетельствует о хороших моющих свойствах.

Промысловое масло или специальная моющая добавка при замене масла используется при переходе с минерального сорта на «синтетику». В остальных случаях высокие моющие свойства масла практически исключают образование каких-либо отложений.

При выборе масла по качественному уровню главным критерием служит указание заводской инструкции. Использование масел более высокого класса не будет заметно удлинять сроки замены масла и значительно снижать износ деталей. Применяемое масло должно быть точно выбранным по вязкости и оптимальным по качественному уровню.

5.2. Пластичные смазочные материалы (характеристики)

Пластические смазки состоят из двух компонентов: жидкой основы (минеральные, растительные, синтетические и другие масла) и загустителя (твердые углеводороды, различные соли высокомолекулярных жирных кислот — мыла, высокодисперсные силикагели и бентониты, другие продукты органического и неорганического происхождения). В своем составе содержат присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики. В состав смазок вводят различные наполнители: графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы или их окислы, слюду и др. Мыла — это соли высших жирных кислот, включающие ионы щелочных металлов (кальция, натрия).

Работа пластичной смазки

Загуститель — металлическое мыло, образует емкость для масла. Мыло образует решетчатый волоконный каркас, заполненный маслом. Выдавливание масла из этой губки происходит под воздействием механических сил и температур. Благодаря наличию структурного каркаса пластичные смазки ведут себя при небольших нагрузках как твердые тела (под действием собственного веса не растекаются, удерживаются на наклонных и вертикальных плоскостях), а под воздействием нагрузок, превышающих прочность структурного каркаса, текут подобно маслам. Однако, при снятии нагрузки, течение смазки прекращается и она вновь приобретает свойства твердого тела.

Преимущества пластичных смазок: способность удерживаться в негерметичных узлах трения, работоспособность в широких температурном и скоростном диапазонах, лучшая смазывающая способность, более высокие защитные свойства от коррозии, работоспособность в контакте с водой и другими агрессивными средами, большая экономичность.

Недостатки смазок: плохая охлаждающая способность, более высокая склонность к окислению, сложность подачи к узлу трения.

В зависимости от загустителя различают: кальциевые, натриевые, литиевые, синтетические. В зависимости от температуры каплепадения раз-

личают: низкотемпературные, среднетемпературные, высокотемпературные. По назначению пластичные смазочные материалы бывают: антифрикционные, защитные, уплотнительные.

Пластичные смазки характеризуются: температурой каплепадения, консинстенцией (пенетрацией), содержанием воды, содержанием свободных кислот или щелочей, количеством золы, количеством механических примесей.

Температура каплепадения — это температура, при которой от смазки, нагретой в стандартных условиях, выделяется первая капля масла. Эта температура должна быть больше на 10...20°C температуры узла трения. Диапазон работы традиционных пластичных смазочных материалов — от -30°C до +140°C. Температура каплепадения: литиевых смазок — 170...200°C, комплексных кальциевых и бариевых — 230...260°C. Верхний температурный предел работоспособности литиевых смазок лежит в пределах 110...130°C, а комплексных кальциевых — 150...160°C.

Консинстенция характеризует степень жесткости пластичных смазок. Ее измеряют стандартными пенетрометрами, погружая в смазочный материал тарированный конус. Глубина погружения (в сотых долях сантиметра) за 5 секунд при $t = 25^\circ\text{C}$ называется числом пенетрации. Чем больше это число, тем меньше консистентность смазки. Высокое число пенетрации — смазка мягкая, низкое число — смазка жесткая. С повышением температуры плотность пластичных смазок уменьшается. Чтобы установить характер такого изменения, число пенетрации определяют при 25°C, 50°C, 75°C. Для работы в узлах трения со значительными тепловыми колебаниями выбирают материал с более пологой кривой пенетрации. Этот показатель можно использовать при оценке единообразия различных партий смазки.

Вязкость характеризует течение смазки после нарушения связей в ее структурном каркасе в результате приложения критической нагрузки. Вязкость смазок зависит от температуры и от условий течения, т. е. скорости деформации. С повышением температуры и увеличением скорости деформации вязкость смазок уменьшается. Особенно чувствительна вязкость смазок к изменению скорости деформации.

Вязкость смазки определяет условия заправки в узлы трения при низких температурах, влияет на пусковые и установившиеся моменты сдвига подшипников, характеризует прокачиваемость по мазепроводам.

Наличие воды в смазке приводит к коррозии деталей узлов трения. Максимальное наличие воды: в кальцевых смазках — не выше 4 %, в натриевых — 0,5 %, в защитных наличие воды не допускается.

Испаряемость определяется в процентах улетучившегося масла при заданной температуре в строго регламентированное время. Потеря масла из-за испаряемости приводит к относительному повышению содержания загустителя в смазке и увеличению предела прочности, вязкости, а также изменению других эксплуатационных свойств смазок.

Водостойкость — способность смазок не растворяться в воде, не поглощать ее из окружающей среды, не смываться и не изменять значительно своих свойств при контакте с ней. Стандартного метода определения водостойкости нет. При необходимости, в каждом отдельном случае в нормативно-техническую документацию записывают определенную методику (кипячение в горячей воде, смываемость с вращающегося подшипника или пластины).

Несущая способность смазывающей пленки учитывает критическую температуру разрушения смазывающей пленки, критическое давление, пластифицирующее действие и адгезионные силы, антифрикционные и противоизносные свойства, противозадирные и другие характеристики.

Смазки в своем составе содержат поверхностно-активные вещества, поэтому их смазочная способность значительно выше, чем масла наполнителя.

Несущую способность смазывающей пленки смазок в граничном слое оценивают по результатам испытаний на трение и износ, к числу которых относится также метод оценки противоизносных и противозадирных свойств на четырехшариковой машине трения.

Антикоррозионные свойства характеризуют коррозионное действие смазки на металлы. Определяют методом погружения металлических пластин в смазку, выдержку в ней при заданной температуре с последующим визуальным определением наличия на пластине следов коррозионного воздействия. Появление коррозионных пятен на пластинах, значительное их потемнение, изменение цвета и внешнего вида смазки в зоне контакта с пластинами указывает на недостаточную антикоррозионную стабильность смазки.

Механические примеси при эксплуатации пластичных смазочных материалов не допускаются.

Наличие кислот и щелочей. Наличие кислот не допускается. Оптимальным является нейтральный состав. Щелочь (до 0,2 %) в смазке допускается для связывания кислот, образующихся при эксплуатации.

Типы пластичных смазок

Кальцевые (солидолы) — влагостойкие, могут содержать до 4 % влаги, имеют хорошую механическую стабильность, имеют низкий коэффициент внутреннего трения, смешиваясь с водой, не образуют эмульсии. Используются в условиях высокой влажности при температуре $-30...+55^{\circ}\text{C}$. Расплавляясь, теряют содержащую в них воду, после охлаждения не восстанавливают свои физико-химические свойства.

Натриевые — чувствительны к влаге, соединяясь с водой, образуют эмульсию и выделяют коррозирующие щелочи и кислоты. Применяются при отсутствии контакта с водой при температуре $-30...+150^{\circ}\text{C}$. Обладают хорошей маслянистостью, хорошими уплотняющими свойствами и восстанавливают свои характеристики после расплавления.

Кальциево-натриевые — по влагостойкости и температурному диапазону занимают промежуточное место. Они эффективны для применения в условиях небольшой влажности при температуре $0...+110^{\circ}\text{C}$.

Литиевые. В основе лежит литиевое мыло, имеющее положительные свойства кальциевых и натриевых смазок, но без их недостатков. Имеют хорошую маслянистость, отличную температурную устойчивость. Применяются при температуре $-50...+150^{\circ}\text{C}$ при возможности проникновения воды.

Смазки с синтетическими маслами. В качестве масла используют полиальфаолефины эфирных и силиконовых масел, которые отличаются большей устойчивостью против старения, чем у минеральных масел. Загустители — литиевое мыло, бентонит. Имеют очень малые потери на трение и работают при температуре $-70...+150^{\circ}\text{C}$.

Краткий ассортимент пластичных смазок приведен в табл. 5.2.

Присадки к пластическим смазкам

Антикоррозийные — используют при работе во влажной среде, при консервации и при хранении. **Антиокислительные** — замедляют окисление при высокой температуре. **Антизадирыные** — соединения фосфора, хлора и серы повышают несущую способность смазочного слоя, иногда отрицательно влияя на подшипниковую сталь.

Маркировка пластичных смазок обозначается буквами в следующем порядке: на первом месте область применения (У — универсальная; И — индустриальная; П — прокатная; А — автотракторная; Ж — железнодорожная); на втором месте — для универсальных смазок наименование группы (Н — низкотемпературная, С — среднеплавкая; Т — тугоплавкая); на третьем и четвертом местах — обозначение марки и специфических свойств (М — морозостойкая; В — влагостойкая; З — защитная; К — канатная). Примеры маркировки: смазка УНЗ (универсальная, низкоплавкая, защитная); смазка УСс-1 (универсальная, среднеплавкая, синтетическая).

5.3. Пластичные смазочные материалы **(особенности, способы подачи и контроля)**

Системы смазывания:

1. Закладная смазка в корпус подшипника.
2. Периодическое смазывание при помощи шприца.
3. Смазывание при помощи ручных станций.
4. Централизованные системы смазывания.

Условия заполнения подшипника пластичной смазкой:

1. Правильное количество смазки.
2. Правильный способ закладки.
3. Правильный сорт и качество смазки.
4. Правильные интервалы повторного смазывания.

Таблица 5.2

Ассортимент пластических смазок

Наименование	Замена	Область применения
Смазка индустриальная ИП 1	ИП 1-Л ИП 1-3	Для централизованной смазки подшипников скольжения и качения, направляющих и др. узлов трения, для закладной смазки зубчатых муфт.
Солидол синтетический УСс-1	Усс-2	Для смазки под давлением подшипников скольжения и качения в холодное время года в условиях повышенной влажности, для смазки пресс-масленками.
Консталин Утс-1	Утс-2	Для смазки подшипников качения и скольжения, для цепных передач в условиях, полностью исключаящих контакт смазки с водой, для механизмов доменного оборудования: втулок барабанов лебедки управления конусами, подшипников и шарниров направляющих устройств, подшипников качения скиповой лебедки, для кузнечно-прессового оборудования.
Индустриально-металлургическая №10		Для смазки бронзовых подшипников скольжения, рабочих валков прокатных клетей и для других узлов трения, работающих при повышенных нагрузках и средних скоростях.
Графитная УСс-А		Для смазки тяжелонагруженных открытых зубчатых передач, централизованной смазки высоконагруженных мест трения. Для цепей лебедки управления конусами.
ЦИАТИМ 201,202 Литиевая 203,208		Для смазки подшипников скольжения и качения (со скоростью вращения до 3000 об./мин. — 201; со скоростью вращения до 30000 об./мин. — 202). Для смазки узлов трения в условиях высоких удельных давлений (до 500 МПа — 203; до 2400 МПа — 208).
Канатная		Для смазки стальных канатов.

Ограничения при работе смазочных систем:

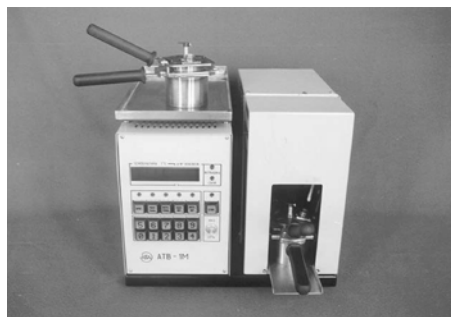
1. Как долго смазка сохраняет работоспособность.
2. Как заменять отработанную смазку.

Расчет основных параметров систем пластичной смазки

Оптимальные условия подачи смазочного вещества, его количество и периодичность подачи определяют при эксплуатации путем подбора. Для



*Рис. 5.4. Пенетромтр
для нефтепродуктов
(пластичных смазок) ПН-1МС*



*Рис. 5.5. Прибор автоматический
для определения температуры
вспышки в закрытом тигле АТВ-1М*



*Рис. 5.6. Аппарат для определения
температуры каплепадения
нефтепродуктов КАПЛЯ-20*

ориентировочного расчета потребности в смазке на металлургических заводах используют формулу:

$$q = 11 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

где q — количество смазки (см^3), которое следует подавать ежечасно на 1 м^2 трущейся поверхности узла трения; 11 — минимальная норма расхода смазки для подшипников диаметром до 100 мм при частоте вращения, не пре-

вышающей 100 об./мин.; K_1 — коэффициент, учитывающий зависимость расхода смазки от диаметра подшипника: $K_1 = 1 + 4(d - 100) \cdot 10^{-3}$ — подшипники скольжения, $K_1 = 1 + (d - 100) \cdot 10^{-3}$ — подшипники качения; K_2 — коэффициент, учитывающий зависимость расхода смазки от частоты вращения подшипника $K_2 = 1 + 4(n - 100) \cdot 10^{-3}$; K_3 — коэффициент, учитывающий качество трущихся поверхностей на норму расхода смазки (при хорошем качестве (суммарная площадь повреждений не превышает 5 %) $K_3 = 1$, при удовлетворительном $K_3 = 1,3$); K_4 — коэффициент, учитывающий рабочую температуру подшипника (при температуре ниже 75 °С $K_4 = 1$, при рабочей температуре 75...150 °С $K_4 = 1,2$); K_5 — коэффициент, учитывающий нагруженность подшипника (при номинальной нагрузке $K_5 = 1$, превышение проектного значения $K_5 = 1,1$).

Производительность дозирующего питателя рассчитывают по формуле:

$$V_n = q \cdot F \cdot T,$$

где V_n — требуемый объем смазки, который должен подать питатель за один ход плунжера, см³, при заданном режиме смазывания (периоде между двумя последовательными подачами) T , ч; F — площадь трущейся поверхности подшипника ($D \cdot B$), м².

Иногда появляется необходимость увеличения или уменьшения расчетной величины производительности дозирующего питателя. В большинстве случаев такое несовпадение зависит от причин, которые в расчете учесть невозможно: неудачная конструкция уплотнений, большое количество воды, попадающей на узел трения и вымывающей смазку, неудачное расположение смазочных канавок, сорт смазки, не соответствующий температурным и нагрузочным условиям работы узла. Эти причины вызывают увеличение, по сравнению с расчетным, типоразмера питателя. Наоборот, меньшая скорость работы машины, более легкий режим, хорошо работающее уплотнение ведут к уменьшению запроектированного типоразмера питателя.

Определение количества смазки

Необходимые и достаточные дозы пластичной смазки, расходуемые на первоначальное заполнение корпуса подшипника и на периодическое пополнение, регламентируются данными, приведенными в табл. 5.3. Объем смазки должен занимать 40...60 % свободного пространства корпуса подшипника. В корпусе подшипника должно быть свободное пространство для выдавливания смазочного материала. Если машина работает без повышенных вибраций, этот объем можно увеличить до 80 % при условии применения литиевых смазок. Если машина работает с большими вибрациями, то максимальный объем смазки — 60 % свободного пространства подшипника.

Объем пластичной смазки (см³) для заправки в подшипниковый узел $V = f \cdot B \cdot D_0 / 1000$, где D_0 — средний диаметр подшипника, см; B — ширина

Таблица 5.3
Количество смазки на единовременное заполнение корпуса подшипника и для периодического добавления

Количество смазки, г, необходимое для единовременного заполнения корпуса подшипника качения для												
фланцев прижимных					глубоких			крышек с уплотняющим войлочным кольцом			разъемных фланцев корпуса	
мелких					При использовании подшипников серии							
200	300	400	200	300	400	200	300	400	200	300	400	
175	280	425	263	420	637	315	503	765	685	1090	1660	
199	310	486	299	465	730	358	557	875	775	1210	1895	
224	362	525	336	543	788	403	650	945	875	1410	2050	
279	455	663	418	683	1000	585	955	1395	1170	1910	2790	
318	532	817	476	795	1225	667	1120	1720	1370	2230	3430	
360	615	987	540	922	1480	755	1290	2070	1470	2580	4150	
429	704	1100	645	1055	1650	900	1475	2350	1800	2960	4630	

Диаметр, мм внутренний	Единовременный расход смазки для периодического добавления					
	При использовании подшипников серии					
	200	300	400	500	600	
90	2,4	4,1	6,1	3,2	6,0	
85	2,7	4,5	6,1	3,9	6,7	
100	3,1	5,1	7,3	4,1	7,8	
110	3,8	6,0	9,1	5,3	9,6	
120	4,3	7,2	11,2	6,7	11,2	
130	4,6	8,1	13,3	7,4	13,0	
140	5,3	9,3	14,8	8,5	15,0	

радиального подшипника или высота упорного подшипника, см; f — коэффициент заполнения, зависящий от внутреннего диаметра подшипника d :

d , мм	< 40	40...100	100...130	130...160	160...200	> 200
f	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0

Для подшипников качения с $d_{BH} > 140$ мм количество смазки для заполнения корпуса подсчитывают по формуле: $Q_3 = 0,001B(D^2 - d^2)$, где Q_3 — количество смазки, необходимое для заполнения корпуса, г; B — ширина подшипника, мм; D — наружный диаметр подшипника, мм; d — внутренний диаметр подшипника, мм. Количество смазки для периодического добавления через время h , ч — $Q = 0,005D \cdot B \cdot g$.

Периодичность смазывания

При нормальных условиях эксплуатации полную перезарядку подшипников осуществляют через 4...6 месяцев работы, при тяжелых условиях эксплуатации — через 2...3 месяца. Повышение температуры на 15 °С требует подачи смазки вдвое чаще.

Время h (ч) между очередными добавлениями порций пластичной смазки при нормальных условиях эксплуатации (при отсутствии утечек, нормальной температуре узла, надлежащем качестве смазки), в зависимости от диаметра d отверстия подшипника и частоты вращения n , может быть ориентировочно определено по графикам (рис. 5.7).

Стационарные корпуса и точки смазывания

Если установлен двухрядный подшипник и есть отверстие для смазки, то смазочный материал следует подавать в подшипник по центру. Необходимо предусмотреть отверстие для выхода отработанного смазочного материала.

Централизованные системы пластичной смазки

По принципу работы централизованные автоматические системы смазки делят на два типа: петлевые системы и конечные системы.

Петлевые системы целесообразно применять в тех случаях, когда смазываемые машины расположены близко одна от другой или требуется обслуживать отдельную машину, нуждающуюся в частой подаче смазки, при необходимости на ответвлениях от главной магистрали устанавливать вентили для отключения от смазочной системы механизмов, требующих более редкой подачи смазки, чем основные группы оборудования. Конечные системы наиболее целесообразно применять при линейном расположении смазываемых агрегатов и механизмов на участках большой длины.

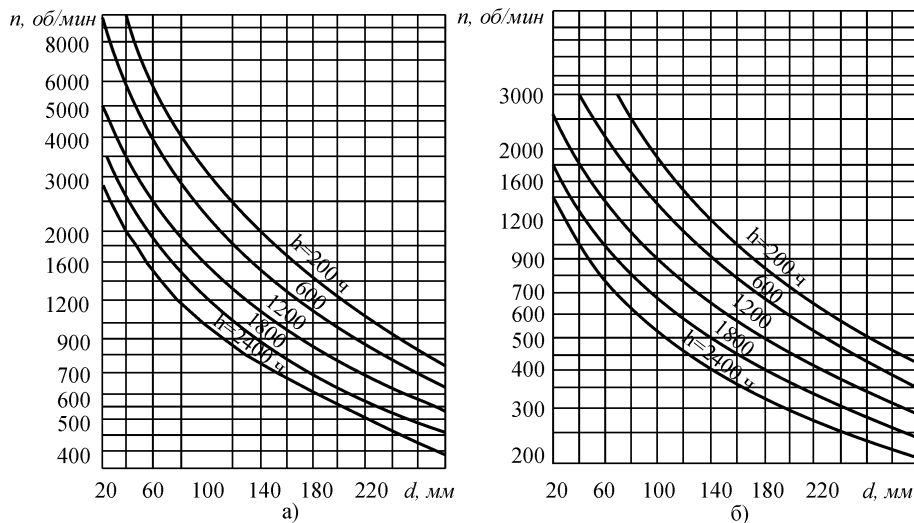


Рис. 5.7. Графики для определения периода между очередным добавлением пластичной смазки для подшипников:

- а) радиальных (кроме роликовых сферических двухрядных);
 б) радиальных сферических двухрядных и упорных

Петлевые системы

Приведенная на рис. 5.8 схема централизованной системы пластичной смазки петлевого типа состоит из оборудования, аппаратуры, контрольно-измерительных приборов и трубопроводов.

1. Двухлинейная смазочная станция, включая плунжерный насос. 2. Резервуар. 3. Заправочный клапан. 4. Заправочный насос. 5. Электродвигатель. 6. Конечный выключатель. 7. Реверсивный золотниковый распределитель с гидравлическим управлением. 8. Сетчатый фильтр. Магистраль I и II — основные линии подачи смазки. Магистраль Ia и IIa — обратные линии для переключения распределителя и возврата смазки в резервуар при достижении в системе максимального рабочего давления. 9. Самопишущий манометр — для контроля работы смазочной системы. 10. Отводы. 11. Питатели. 12. Трубопроводы от питателей к смазываемым точкам. 13. Питатели, подключенные к продолжению магистральных трубопроводов за участком соединения с возвратными магистралями Ia и IIa. 14. Золотник линейного распределителя с электрическим управлением, сблокированный с прибором управления — для переключения мазевго потока в отводах. 15. Питатели для узлов с увеличенным периодом между поступлениями смазки. 16. Паропроводящая магистраль — для обогрева мазепроводов (смазочная система

работает удовлетворительно только при температуре не ниже 15°C). 17. Питатели, обслуживающие смазываемые точки независимо от автомата. 18. Четырех-ходовой кран. 19. Командный прибор (прибор управления) — включение станции через определенные промежутки времени.

Недостатком петлевых систем является большая протяженность магистральных трубопроводов из-за наличия обратных линий. Преимуществом можно считать более легкую наладку станции благодаря отсутствию конечного выключателя в конце магистрали и большую надежность ее работы.

Конечные системы пластичной смазки отличаются устройством распределителя и наличием клапана давления, а также электрическими схемами и электрооборудованием (рис. 5.9). Системы конечного типа применяют для смазки оборудования, расположенного линейно на участках большой протяженности, что характерно для металлургического оборудования. В конечных системах более простая разводка труб главной магистрали, так как не требуется вводить обратные линии, необходимые при петлевой системе.

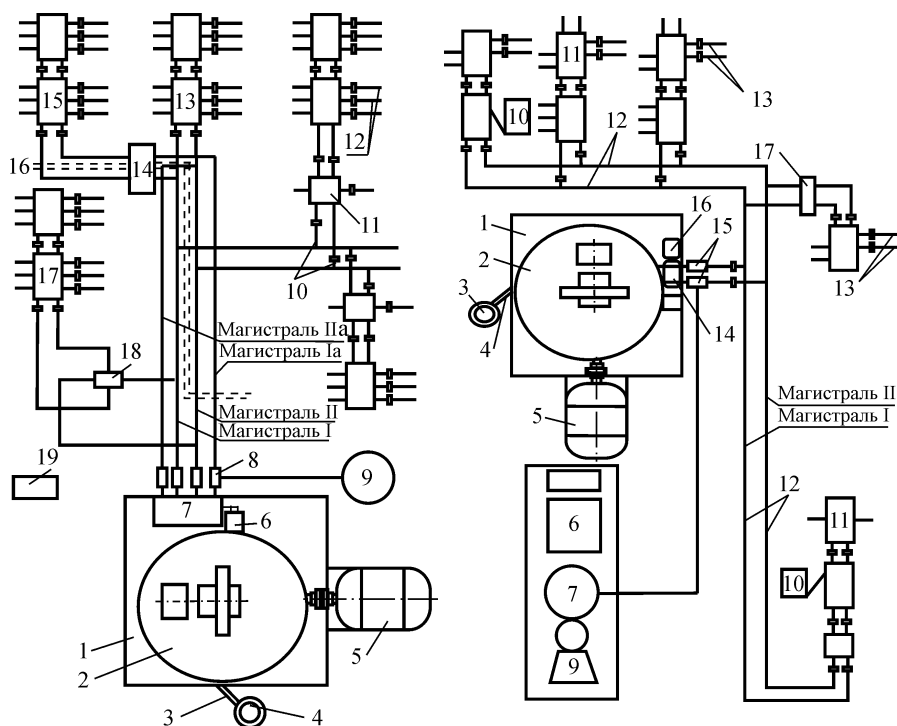


Рис. 5.8. Схема централизованной автоматической петлевой системы густой смазки

Рис. 5.9. Конечная система централизованной смазки

1. Смазочная станция. 2. Резервуар. 3. Заправочный насос. 4. Заправочный клапан. 5. Электродвигатель и плунжерный насос. 6. Командный прибор, включающий станцию через заданные интервалы времени. 7. Самопишущий манометр. 8. Сигнальная лампа. 9. Сирена — включается при слишком длительной работе или несвоевременном пуске станции. 10. Клапан давления, соединенный с конечным выключателем, установлен в конце наиболее длинного ответвления магистрали. 11. Питатели. 12. Магистральные трубопроводы. 13. Трубопроводы, подающие смазки к узлам трения. 14. Распределитель с электрическим управлением. 15. Сетчатые фильтры. 16. Электромагниты распределителя. 17. Линейные распределители с электрическим управлением — для периодического отключения от системы группы точек, которые не требуют подачи смазки при каждом цикле работы станции.

Работа питателей происходит следующим образом (рис. 5.10): **положение I** — смазка, поступающая под давлением по магистрали А, опускает золотник 2, открывая при этом верхний косой канал 4; **положение II** — пройдя через канал 4, смазка заставляет опускаться поршень 3; при этом смазочный материал из пространства под поршнем выдавливается по каналу 5 к узлу трения; **положение III** — смазка поступает по магистрали Б, и золотник 2 перемещается вверх; **положение IV** — пройдя через нижний косой канал, смазка заставляет поршень 3 подняться вверх, при этом смазочный материал из пространства над поршнем выдавливается по каналу 5 к узлу трения.

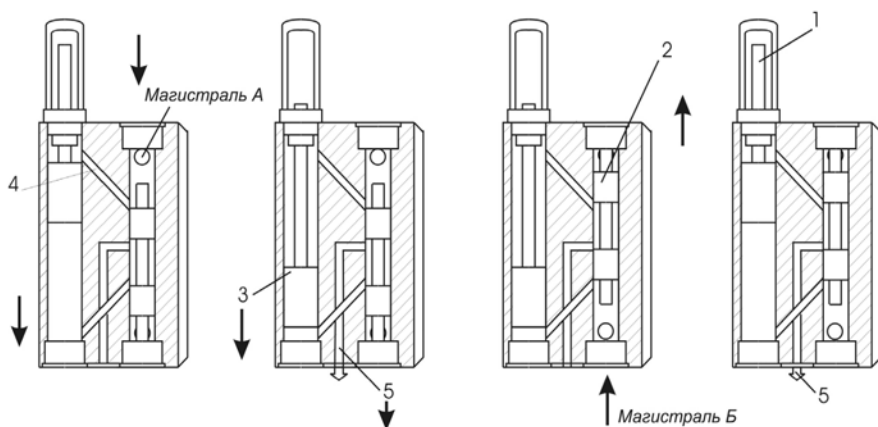


Рис. 5.10. Этапы работы питателей

Штоки — указатели 1 всех питателей должны всегда занимать одинаковое положение: быть либо приподнятыми, либо опущенными вниз до

упора. Питатели, не сработавшие в течение трех последовательных циклов нагнетания, подлежат ремонту или замене. Разработку и замену вышедших из строя питателей при подаче смазки автоматической станцией проводить только после переключения станции на ручное управление.

Эксплуатация централизованных систем густой смазки

1. Необходимо исключить возможность попадания в систему грязи, песка, воды, воздуха.
2. Используемая смазка должна быть однотипной, однородной — без комков и посторонних включений.
3. Запрещается заполнять резервуар ручной станции через верх со снятой крышкой.
4. Исключить утечки смазки через питатели и трубопроводы. При замене труб новая труба должна быть протравлена или обработана пескоструйной машиной, промыта и наполнена мазью.
5. Запорные приспособления, установленные на мазепроводе возле станций, должны быть открыты при работе.
6. Необходимо соблюдать сроки заполнения резервуара смазкой, не допускать их опорожнения.
7. Один раз в сутки менять диаграмму на самопишущем манометре. Результаты предыдущих суток необходимо проанализировать.
8. Не допускать возможности попадания мази в механизм самопишущего манометра.
9. Регулярно проверять показания манометров на контрольных точках.
10. Один раз в смену проверять работу питателя.

Эксплуатация ручных станций

1. При нагнетании рукоятка не доводится до крайнего положения, с постоянным контролем давления.
2. Не оставлять систему под давлением. Рукоятка станции должна быть в вертикальном положении.
3. Предохранять станцию от загрязнения и от воздействия влаги. Желательно все питатели, смазываемые точки и отводы пронумеровать однотипно.

Типичные случаи неполадок питателей

1. Поврежден корпус ограничителя. Заменить, если можно — восстановить.
2. Погнут шток линейного питателя. Заменит шток либо ограничитель.
3. Питатель срабатывает только вверх. У золотника очень длинный нижний хвостовик.
4. При нормальном давлении питатель пропускает смазку выше положенной нормы. Либо нет золотника, либо золотник изношен.

5.4. Жидкие смазочные материалы (характеристики)

Типы жидких масел

Минеральные масла, получаемые как продукт перегонки нефти. **Синтетические масла**. **Растительные и животные масла**. **Растительные масла**: льняное, конопляное, касторовое, пальмовое — работают при низких и высоких температурах. **Животные масла**: свиное сало, спермацетовое масло, костные масла — добавляют в минеральные масла при особых трениях.

Физико-химические свойства смазочных масел. Смазочные масла отличаются друг от друга своими физико-химическими свойствами: удельным весом, вязкостью, температурами вспышки и застывания, содержанием различных примесей, степенью очистки, коксуемостью, липкостью и стабильностью. Удельный вес масел 0,89...0,96.

Вязкость — внутреннее трение, возникающее между слоями масла при относительном перемещении под влиянием внешней силы. Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость.

Динамическая вязкость — измеряется касательной силой (в Н), приходящейся на единицу площади (1 м^2) одной из двух горизонтальных плоскостей, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга при условии, что одна из этих плоскостей неподвижна, а вторая движется со скоростью 1 м/сек, а пространство между ними заполнено исследуемым маслом.

Если сила равна 1Н, то единица динамической вязкости измеряется — 1 Па·с. Размерность динамической вязкости μ ранее измерялась в кг·с/м² (пуаз). $98,07 \text{ пз} = 9,807 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Вода при $t = 20^\circ \text{C}$ имеет динамическую вязкость 1 спз (сантипуаз).

Отношение динамической вязкости μ к плотности ρ при той же температуре называется кинематической вязкостью (удельный коэффициент внутреннего трения): $\mu_k = \mu/\rho$. Если единица плотности масла 1 кг/м^3 , то единица кинематической вязкости $1 \text{ м}^2/\text{с}$.

Раньше единицей измерения кинематической вязкости был стокс, измеряемый в см²/с (ст). Сотая часть стока — сантистокс. Кинематическая вязкость дистиллированной воды при $+20^\circ \text{C}$ равна 1 сСт .

Условная вязкость — отношение времени истечения стандартного объема масла через калиброванное отверстие при температуре 50°C или 100°C ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды при температуре 20°C . Для пересчета условной вязкости в кинематическую и динамическую пользуются приближенными формулами.

Величина, обратная вязкости, называется текучестью. Вязкость смазочных масел изменяется не только от температуры, но и от давления. С увеличением давления вязкость растет. Вязкость масел обратно пропорциональна температуре. Неизбежные при работе оборудования колебания температуры изменяют вязкость и скорость износа деталей. Слишком густое

или слишком жидкое масло отрицательно влияет на поверхности трущихся деталей, уменьшая при этом их долговечность.

Влияние температуры на вязкость — с повышением температуры вязкость уменьшается. Зависимость вязкости от температуры — нелинейная. Индекс вязкости: $\mu_k 50 / \mu_k 100$. Температурный коэффициент вязкости: $\text{TKB} = (\mu_k 0 - \mu_k 100) / \mu_k 50$. Чем меньше ТКВ, тем выше эксплуатационные свойства масел.

Температура застывания — температура, при которой масло теряет текучесть и приобретает свойства пластической массы. Чтобы определить температуру застывания, масло наливают в пробирку площадью поперечного сечения 1 см, охлаждают и наклоняют на угол 45°. Уровень масла не должен изменять своего положения в течение 1 мин. Чем лучше масло сохраняет текучесть, тем более пригодно оно для смазки узлов трения машин, работающих в условиях отрицательных температур. Подвижность масла сохраняется в некоторых случаях при температуре на 10...15 °С ниже, чем указано в характеристиках.

Антиокислительная стабильность

Независимо от условий применения минеральные масла в результате действия кислорода воздуха окисляются с образованием продуктов окисления (кислот, смол, карбонидов). При этом изменяются физико-механические свойства масел: увеличивается (уменьшается) вязкость, повышается кислотное число. Чем выше рабочая температура масла и чем больше длительность пребывания постоянного объема в механизме (маслобаке), тем интенсивнее протекает окисление и тем больше продуктов окисления скапливается в масле. Это приводит к нарушению нормальной работы механизма (загрязнению, коррозии, прекращению движения), что вызывает через определенное время необходимость замены отработанного масла свежим.

Противокоррозийные свойства — определяются чувствительностью цветных металлов и сплавов к действию органических кислот, находящихся в минеральных маслах. Противокоррозийные свойства оцениваются: **кислотным числом** (в мг КОН, затраченных на нейтрализацию 1 г масла), которое характеризует содержание в масле водорастворимых кислот и щелочей; **коррозией поверхности** стальных и медных пластинок после их длительного пребывания в масле — характеризует присутствие в масле сернистых соединений, что недопустимо.

Температура вспышки — температура, при которой масло выделяет пары, воспламеняющиеся от поднесенного к ним огня. Температура вспышки определяется содержанием легкокипящих или легкоиспаряющихся частей масла. Пригодность масла для работы в соприкосновении с сильно нагретыми поверхностями определяется температурой вспышки.

Температура воспламенения — температура, при которой масло загорается и горит не менее 5 секунд.

Маслянистость, гибкость, смачиваемость — способность масла прилипать к поверхности. Оценивается в условных единицах. Самой лучшей маслянистостью обладает свиное масло — 100, рыбий жир — 69, касторовое масло — 57, авиационное масло — 16, машинное масло — 13.

Коксуемость — свойство масел выделять твердый осадок (кокс) при нагреве без доступа воздуха до $t = 500...600^{\circ}\text{C}$. Мерой коксуемости служит коксовое число — количество осадков, полученных прокаливанием 10 г масла.

Зольность — качество очистки масла и наличия в нем несгораемых веществ, равна количеству остатка, полученного после выпаривания, сжигания и прокаливания навески масла. Чем меньше зольность, тем лучше.

Эмульгируемость — способность масел образовывать с водой трудно-разделимые смеси. Оценивается числом деэмульсации — временем (в минутах) полного разделения масла и воды.

Присадки

Вязкостные — изменяют вязкость при повышении температуры. **Моющие** — удаляют загрязнения на стенках трубопровода. **Дисперсионные** — понижают температуру застывания. **Противоизносные** присадки усиливают прочность масляной пленки, разделяющей поверхности трения. **Антиокислительные** повышают сопротивление масла окислению кислородом воздуха и увеличивают срок его службы. **Антипенные**. **Антизадирные** — содержат серу, хлор, фосфор, образуют нестойкие соединения, защищающие поверхность металла от схватывания.

Выбор смазочных масел

При выборе определенного сорта масла должны быть учтены индивидуальные особенности рассматриваемой машины. В зависимости от условий и характера работы машин для их смазки употребляются масла различной вязкости, температуры вспышки и степени очистки. Для машины с большой удельной нагрузкой и небольшой скоростью следует применять более вязкие масла.

Для маркировки масел по ГОСТ применяются следующие условные индексы: цифра показывает среднюю кинематическую вязкость в сантистоксах данного сорта масла, а буквы обозначают масло: Л — легкое; С — среднее; Т — тяжелое (высоковязкое); В — вышелоченное; А — автотракторное; К — кислотной очистки; С — селективной очистки; З — загущенное.

Чаще всего в подшипниках качения используют минеральные масла прямой перегонки без присадок. Масла, содержащие присадки, которые улучшают определенные свойства смазочного материала, используют в особых случаях. Синтетические масла применяются в подшипниках в крайних случаях, например, при очень низких или очень высоких температурах. Характеристики смазочной пленки синтетического масла могут отличаться от характеристик минерального масла при одинаковой вязкости.

Выбор масла основан на величине вязкости, необходимой для эффективного смазывания подшипника при рабочей температуре. Вязкость масла зависит от температуры — то есть уменьшается с ростом температуры. В подшипниках качения рекомендуется применять масла с высоким индексом вязкости (малые изменения при росте температуры) — не менее 85 единиц.

Для того, чтобы в месте контакта тела качения с дорожкой образовывалась достаточно толстая масляная пленка, масло при рабочей температуре должно обладать какой-то минимальной вязкостью. Кинематическая вязкость минерального масла, которая необходима, чтобы при рабочей температуре смазка была эффективной, определяется при помощи диаграммы (рис. 5.11). Определенные типы подшипников, например, сферические роликоподшипники, конические роликоподшипники и сферические упорные роликоподшипники, обычно при сходных условиях имеют более высокие рабочие температуры, чем подшипники других типов, например, радиальные шарикоподшипники и роликоподшипники с цилиндрическими роликами.

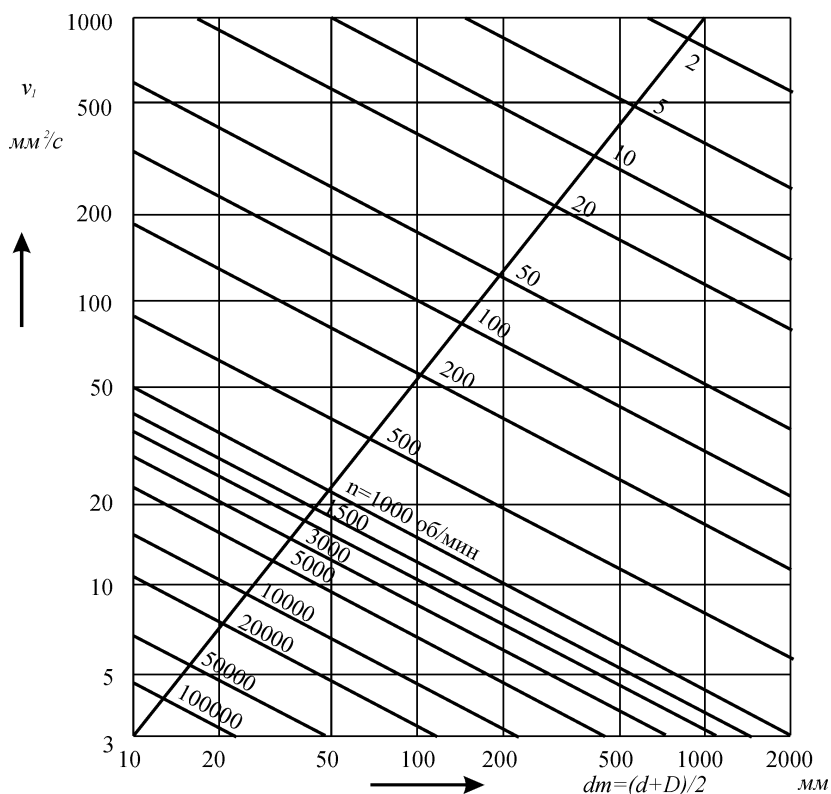


Рис. 5.11. Диаграмма для определения кинематической вязкости масла

Выбор смазки для зубчатых передач

При расчете систем смазки нужно выбрать сорт масла, выбрать метод смазывания, рассчитать подачу насоса, определить диаметр трубопровода. Вязкость масла рассчитывается по формуле: $\text{ВУ}_{50} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot q$, m — коэффициент зависящий от окружной скорости (если $V < 8$ м/с, то $m = 1,6$); q — усилие на единицу длины зуба.

Если рабочая температура масла выше 50°C , в формулу вводится поправка: $\text{ВУ}_{50} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot q (t/50)^{-a}$. Здесь $a = 2,3 + (0,005 \cdot \text{ВУ}_{50} - 0,04/\text{ВУ}_{50})$.

Выбор метода смазывания — осуществляется на основе расчета теплового баланса. Если количество теплоты, выделяемое в узлах трения механизма, выводится в окружающую среду (температура масла не превышает 60°C), применяется любой метод смазывания (например, погружением). Если количество теплоты, выделяемое в узлах трения механизма, не выводится в окружающую среду (температура масла превышает 60°C), применяются циркуляционные системы смазки. Разность температуры масла между входом и выходом не должна превышать $10...15^\circ\text{C}$.

Периодичность замены масла

Масло меняется 1 раз в год, если температура не более 50°C , при погружении. Если температура свыше 100°C замена масла должна проводиться каждые три месяца.

При циркуляционной системе смазки, масло можно очищать, регулировать и контролировать его качество и замену.

Индустриальные масла бракуются в следующих случаях.

Вязкость отличается от нормы, установленной ГОСТом, более чем на 2°ВУ (выше или ниже). Реакция водной вытяжки масла кислая. Кислая реакция обычно проявляется при значительно возросшем кислотном числе. Это способствует коррозии металлов — образуются металлические мыла в виде мазеобразных осадков. В первую очередь такой коррозии подвергаются цветные металлы. Снизилась температура вспышки — на $6...7^\circ\text{C}$ и более.

5.5. Жидкие смазочные материалы (особенности, способы подачи и контроля)

Жидкое масло используется в механизмах, которые работают с высокими скоростями или температурами, не позволяющими использовать пластичную смазку, когда тепло, подводимое извне или выделяющееся в результате трения, должно отводиться от узлов трения.

Способы подачи жидкостной смазки к поверхности трения. **Индивидуальная** — капельная, фитильная. **Погружением** — смазка осуществляется разбрызгиванием. Применяется при скорости вращения колес до 10 м/с. При погружении зубчатых колес в масляную ванну жидкий смазочный

Таблица 5.4

Ассортимент минеральных масел

Наименование	Заменитель	Область применения
Индустриальное ИС-12	Веретенное	Для механизмов с числом оборотов 1500...5000 об./мин. и малыми нагрузками, для электродвигателей с кольцевой системой смазки и в других случаях
Индустриальное ИС-20	Веретенное 3	Для механизмов, работающих с малыми и средними нагрузками при частоте вращения 5000 об./мин., и подшипников скольжения с кольцевой смазкой
Индустриальное ИС-30	Машинное А	Для механизмов, работающих на средних режимах (подшипники качения, зубчатые передачи и направляющие). Для заливки слабо нагруженных редукторов, ножниц, прессов, ленточных и дисковых пил и для заливки в масляные ванны редукторов: кранов с лапами, кранов для разведения слитков, мультых кранов

материал попадает в узлы трения частично, большая часть масла просто не используется. **Смазка под давлением** — циркуляционные системы жидкой смазки, жидкая смазка используется многократно, снижает коэффициент трения, охлаждает детали. **Смазывание кольцом** — применяется для подшипников скольжения и качения, для подачи смазочного материала используется кольцо, свободно вращающееся вместе с валом. **Системы смазывания «масло-воздух»:** система смазки типа «масляный туман»; система смазки типа «масловоздушный поток»; система смазки — плёночная.

Системы смазки типа «масляный туман» создают аэрозоль из смазочного материала с мелкодисперсными каплями смазочного материала в воздухе. Недостатки: большой расход смазочного материала; большой расход сжатого воздуха; вред для обслуживающего персонала; пожароопасность и экологическое загрязнение.

Системы смазки типа «масловоздушный поток» создают поток смазочного материала в виде крупнодисперсных капель в воздухе. Для формирования плёнки смазочного материала с заданными параметрами и доставки к точкам смазки затрачивается меньшее количество смазочного материала и сжатого воздуха. Недостатки: большой расход смазочного материала; большой расход сжатого воздуха; неопределённость функционирования «делителей потока»; невозможность создания устойчивой плёнки из смазочного материала с заданными параметрами.

Системы смазки плёночные (СПП) создают из смазочного материала плёнку с заданными параметрами и сжатым воздухом доставляют к точкам смазки. Этим достигается экономия смазочного материала, уплотне-

ние подшипникового узла за счет избыточного давления воздуха, создаются почти идеальные условия для работы подшипников.

Преимущества: точная дозировка смазочного материала, оптимальные условия смазывания, вынос продуктов износа из зоны трения, частичное охлаждение точек смазки, экономия смазочных материалов (в 15...30 раз меньше); увеличение срока службы подшипников.

Циркуляционная система жидкой смазки

Существуют схемы с ротационно-поршневым насосом и с шестеренным насосом. Схемы включают: перепускные, обратные, предохранительные клапана; фильтры — дисковые, восстанавливаемые или одноразовые; сливной, нагнетательный, подающий трубопроводы; систему подачи масла в узлы трения; нагнетательную систему — насосные установки; масляный бак — магнитные ловушки, центрифуги, систему очистки, системы нагрева и охлаждения (давление масла рекомендуется держать немного больше, чем давление воды); запорную арматуру; средства контроля и измерения.

Наиболее простым способом жидкого смазывания является масляная ванна (рис. 5.12). Масло захватывается вращающимися деталями подшипника и распределяется по нему, а

затем стекает назад в масляную ванну. Уровень масла, когда подшипник не вращается, должен достигать середины нижнего тела качения. Номинальное значение скоростей вращения при жидком смазывании, которые приводятся в таблицах подшипников, относятся к способу смазывания в масляной ванне.

При работе с более высокой скоростью вращения рабочие температуры увеличиваются, что ускоряет старение масла. Для того, чтобы избежать частой смены масла, предпочтительно организовывать циркуляцию масла (рис. 5.13) при помощи насоса. После прохожде-

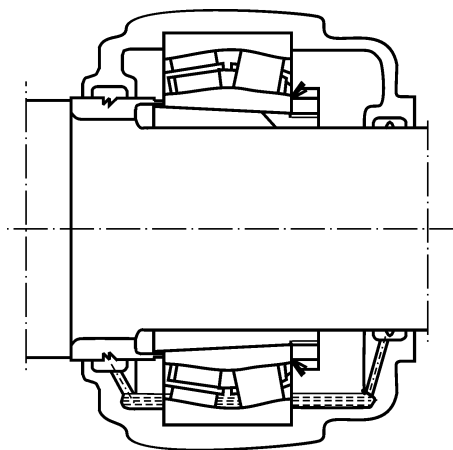


Рис. 5.12. Масляная ванна

ния масла через подшипник масло фильтруется и, при необходимости, охлаждается перед новой подачей. Охлаждение масла позволяет поддерживать рабочую температуру подшипника на заданном уровне.

Для работы при очень высокой скорости необходимо, чтобы в подшипник попадало достаточное, но не избыточное количество масла, обеспечивающее смазывание, не увеличивающее рабочую температуру под-

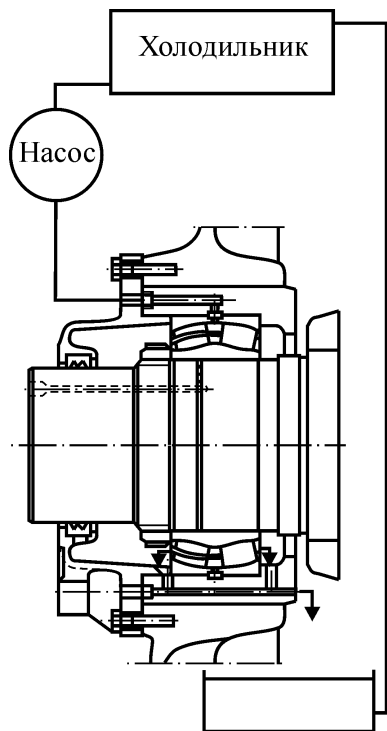


Рис. 5.13. Циркуляционная система смазывания жидким маслом

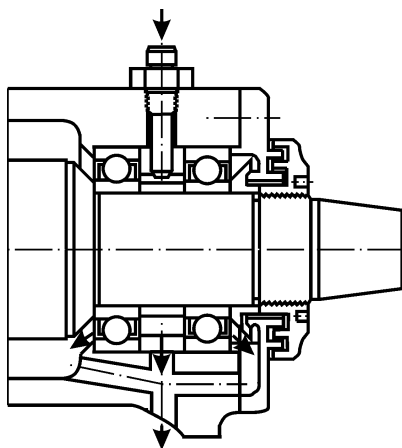


Рис. 5.14. Система впрыскивания масла в подшипниковый узел

шипника. Одним из наиболее эффективных методов достижения такого режима является впрыск масла (рис. 5.14), при котором струя масла под действием высокого давления направляется со стороны торца в подшипник. Скорость масла в струе должна быть достаточно высокой (не менее 15 м/с), чтобы часть масла проникала через завихрения, образующиеся вокруг вращающегося подшипника.

Масловоздушное смазывание (рис. 5.15) происходит небольшими, точно отмеренными дозами масла, направляемого на каждый подшипник сжатым воздухом. Минимальное количество подаваемого масла позволяет подшипникам работать при более низких температурах или при высоких скоростях вращения. Масло подается в каналы дозирующим агрегатом с заданной периодичностью и затем перемещается сжатым воздухом, покрывая внутренние стены каналов. В подшипник масло подается через сопло. Сжатый воздух охлаждает подшипник и создает необходимое избыточное давление в подшипниковом узле, препятствующее проникновению внутрь загрязняющих веществ. В постоянно обновляющейся тонкой жидкой масляной пленке не скапливаются абразивные продукты износа. При обслуживании не требуется промывка с использованием моющих составов в больших объемах. В зонах обслуживания нет разливов и выбросов лишней смазки.

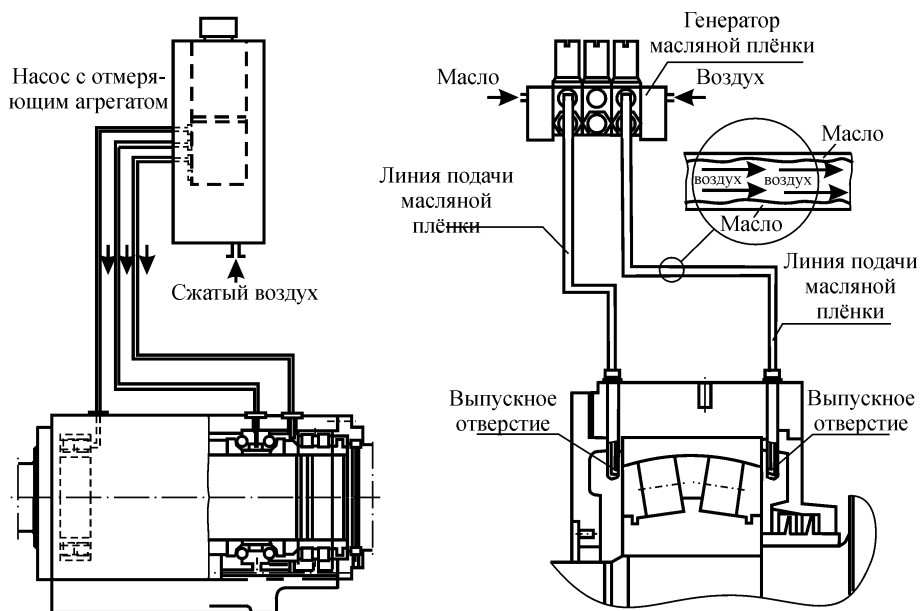


Рис. 5.15. Маслораспределение

При циркуляционном смазывании, смазки впрыском или маслораспределительным смазыванием необходимо убедиться, что масло, вытекающее из подшипника, может удаляться из подшипникового узла по каналам соответствующего размера. При маслораспределительном смазывании масло проходит через подшипник только один раз.

Пленочная система смазки (СП) состоит из следующих элементов: модуль управления и контроля; модуль смазочный; модуль распределения и контроля; генераторы масляной пленки; модуль подготовки воздуха; выносной пульт сигнализации; влагоотделитель.

Эксплуатация систем жидкой смазки

1. Запуск системы смазки разрешается при исправном состоянии всех систем контроля.
2. Перед пуском системы подогревают масло до 60...70°C. Включать систему необходимо за 15...20 мин. до пуска агрегата.
3. При остановке систем жидкой смазки машинист или его помощник должны лично убедиться, что механизмы остановлены.
4. При работе систем жидкой смазки следить: за показаниями приборов, за состоянием масла в отстойнике.
5. Раз в год промывать резервуары горячей водой и убирать грязь в корпусах фильтров.

6. Периодически чередовать рабочие и резервные насосы.
7. Давление масла на входе в теплообменник должно быть выше, чем давление охлаждающей воды.
8. Необходимо следить за чистотой внутренней поверхности систем смазки.
9. Аварийный сигнал должен быть одновременно световым и звуковым.
10. Механизмы разрешается запускать только после того, как давление в магистрали достигнет как минимум 0,15 МПа.
11. Необходимо наблюдать за работой указателей течения и подачи масла. Следить за состоянием сопел, брызгал в редукторах, за состоянием фланцевых и резьбовых соединений.
12. Один раз в день спускать воду из водоотделителя.

Возможные неисправности в работе шестеренных насосов

1. Насос не засасывает масло: насос не залит маслом; подсос воздуха на линии всасывания; велика высота всасывания.
2. Насос не нагнетает масло в систему: низкий уровень масла в баке или его отсутствие; неправильное вращение насоса; засорение всасывающего трубопровода или масляного фильтра; срезана шпонка вала или муфта проворачивается по валу; сломан вал; мала скорость вращения; велики торцевые зазоры между шестернями и втулками.
3. Велика потребляемая мощность: велико давление нагнетания; насос перекачивает холодное масло; насос перекачивает загрязненное масло; неравномерная затяжка болтов, деформация рамы или фундамента.
4. Повышенный шум при работе насоса: загрязнения трубопровода или фильтра; засорение всасывающих каналов; повышенная скорость вращения; повышенная вязкость масла; отсутствие сообщения пространства над маслом в баке с атмосферой.
5. Наружные утечки по валу насоса или в соединениях крышки с корпусом: засорение дренажных отверстий; износ или повреждение уплотнений; повреждение уплотнений в крышках.

5.6. Проверка качества смазочных материалов, продуктов изнашивания в смазке

Примерно в 40 случаях из 100 причиной отказа является недостаток смазочного материала либо его загрязнение. Задача анализа качества смазывания имеет три основных направления: контроль поступления, анализ продуктов изнашивания и контроль качества смазочного материала [16].

Операции по **контролю поступления смазочного материала** определяются способом его подачи к деталям механизма. В основном это визуальные проверки: количества масла в редукторе — по уровнемеру, по масляному шупу; работы насоса подачи масла (при принудительной смазке);

утечек; давления масла по манометру; работы питателей; подачи масла — через смотровое стекло на маслопроводе, по расходомеру; просачивания пластичного смазочного материала из уплотнительной части; состояния обрызгивания маслом зубчатых колёс.

Симптомы неисправности при контроле поступления смазочного материала зависят от способа смазывания. При контроле количества масла в редукторе по уровнемеру или по масляному шупу — это уровень меньший, чем нижний допустимый предел. Проверка работы насоса подачи масла включает поиск утечек, которые должны отсутствовать, и проверку давления масла по манометру, которое должно отвечать проектному значению. Работа питателей проверяется в случае использования пластичных смазочных материалов. Симптом неисправности питателей — неравномерная работа штоков, либо отсутствие перемещения при переключении системы смазывания. Подача масла через смотровое стекло на маслопроводе позволяет определить отсутствие потока смазочного материала, либо слишком большой поток масла (оптимальная толщина струи масла — 2...3 мм). В случае установки расходомера контролируется расход масла, который должен отвечать стандартному значению. Визуально определяется степень просачивания пластичного смазочного материала из уплотнительной части — чрезмерное просачивание или сухая уплотнительная часть являются симптомами неисправности. Аналогично проверяется состояние обрызгивания маслом зубчатых колёс через смотровое стекло — недостаточность или неравномерность обрызгивания.

Анализ продуктов изнашивания

Включения в масло отражают характер и интенсивность износа элементов механизма, смазываемых маслом, и характеризуются числом, концентрацией частиц и их химическим составом. При нормальном износе обнаруживаются частицы размером до 15 мкм и толщиной до 1 мкм. При трении — это гладкие круглые частицы. Начало интенсивного изнашивания сопровождается увеличением концентрации частиц и их размера до 50 мкм и появлением определенной формы (осколки, пластины неправильной формы, стружка). Дальнейшее развитие неисправности приводит к увеличению размера частиц до 100...300 мкм, а при выходе из строя — более 1000 мкм. Характеристика вида частиц при интенсивном изнашивании приведена в табл. 5.5. Возрастание концентрации элементов износа в масле начинается за 100...150 часов до возможного нарушения работоспособности сопряжения.

Методы определения продуктов износа в масле классифицируют по физическим процессам, заложенным в них: разделения частиц, оптической плотности, спектральным и хроматографическим. Методы разделения включают: количественный анализ накопившихся частиц в масле — маг-

Таблица 5.5

Характеристика частиц при интенсивном изнашивании

Характеристика	Изнашивание				
	Трение	Срез	Усталостное		
Вид	Гладкие частицы, круглые	Стружка; яркие чешуйки, боковые грани отполированы	Осколки с прямыми и кривыми кромками	Шаровая форма	Пластины: неправильная форма; «розы»
Размер, мкм	50...200	25...1500	> 10...20	1...5	> 10...50
Отношение размера к толщине	—	10	10	—	30
Идентификация	—	Разрушение зубьев передач, роликовых подшипников	Высокие нагрузки на шестерни	Начало изнашивания подшипников качения; кавитационное разрушение	Разрушение зубьев передач, разрушение шариковых подшипников

нитные и электрические детекторы; количественно-дисперсионный анализ — феррографы (магнито-оптические и магнито-емкостные).

Оптические анализаторы и феррографы, показывая увеличение размера частиц, раньше сигнализируют о неисправности, чем магнитные пробки и спектрофотометры, которые определяют количество (концентрацию) частиц в масле. Феррограф и детекторы стружки определяют ферромагнитные частицы, а спектрофотометр — все металлы, входящие в состав деталей механизма.

Колориметрический метод основан на сравнении оптической плотности (окраски) раствора исследуемого вещества с параметрами стандартного раствора. С увеличением концентрации веществ в масле увеличивается его оптическая плотность (становится интенсивнее окраска раствора). Наиболее точно этим способом определяется концентрация железа.

Спектральный анализ основан на изучении спектра, получаемого при сжигании масла в зоне электрической дуги. Спектр регистрируется с помощью фотоэлектрических датчиков. Полученные данные сравнивают со спектрами эталонов, что позволяет определить наличие в масле продуктов износа, а интенсивность отдельных линий свидетельствует о концентрации элементов в масле. Способ спектрального анализа обладает высокой чувствительностью и точностью, но очень трудоемок.

Условие отбора проб масел

Плотность продуктов износа значительно выше плотности масла. После остановки механизма продукты износа осаждаются. Пробу берут сразу после остановки механизма или не менее, чем через 10 минут после пуска. Пробы берут перед фильтром. Нельзя брать масло у дна редуктора, на котором всегда имеется осадок. Перед отбором пробы необходимо спустить отстой. Пробы берут на глубине 30...35 мм через отверстие для маслоизмерительного шупа или непосредственно из масляной магистрали. Пробы шприцем отбирают в сухую чистую посуду, заполняемую на 3/4 объема, плотно закрывают и готовят к транспортировке.

Магнитное извлечение металлических примесей проводится при помощи магнитов, опускаемых в масло, или магнитных пробок, установленных на сливных маслопроводах. Металлические частицы, являющиеся продуктами износа, прилипшие к поверхности магнита, затем рассматривают при помощи лупы (6...10-кратного увеличения) или микроскопа с целью определения причин их появления. Чувствительность магнитных пробок — частицы с размерами более 100 мкм. Наибольшая эффективность метода для частиц свыше 200 мкм.

В первые 100...150 часов работы механизма с циркуляционной смазкой на магнитных пробках наблюдается металлическая производственная стружка, имеющая рваную с темными краями кромку. При нормальной эксплуатации мелкие железные частицы образуют в масле пастообразную массу с частицами до 0,25 мкм, размер частиц в процессе работы не меняется.

Аналитический феррограф

Феррограмма — зафиксированное на предметном стекле распределение частиц. Жидкость, стекающая по стеклянной пластинке, подвергается воздействию постепенно увеличивающегося магнитного поля (рис. 5.16). Это приводит к разделению частиц по размерам и позволяет определить их количество. Источник частиц может быть выявлен по их окраске при наблюдении в бихроматическом микроскопе. При нагреве феррограммы до 320...330°C в течение 90...120 секунд частицы различных металлов принимают цвет: углеродистая сталь — голубой, чугун — желто-коричневый; хром, свинец, алюминий — бело-серый; окись железа — бурый; неметаллические включения — желтый и зеленый.

Контроль качества смазочного материала

В процессе контроля проверяют: цвет, вязкость, температуру застывания и вспышки, плотность, содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды. У пластичных смазочных материалов контролируют: пенетрацию, температуру каплепадения, наличие механических примесей и воды.

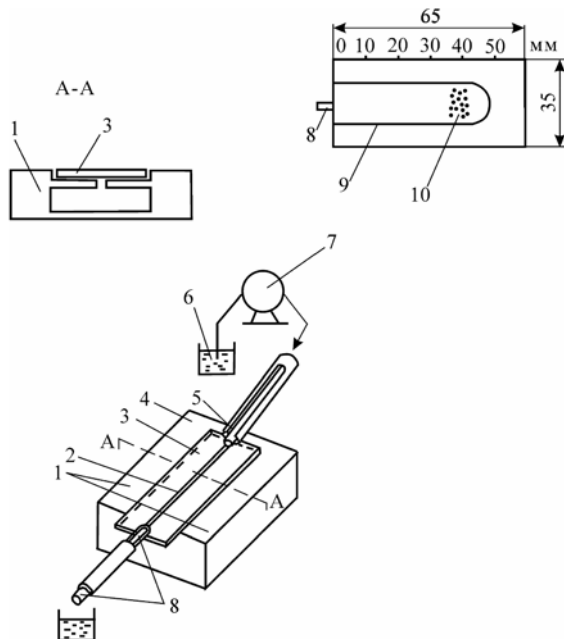


Рис. 5.16. Схема получения феррограмм аналитического феррографа: 1 — полюсы магнита; 2 — проба масла на пластине; 3 — предметное стекло для получения феррограммы; 4 — узел магнита; 5 — подвод пробы масла от насоса; 6 — сосуд с пробами масла; 7 — насос; 8 — отвод потока масла; 9 — несмачиваемая стенка предметного стекла; 10 — феррограмма

Визуальный контроль цвета масла

В случае жидкой смазки, масло должно иметь цвет свежего масла. Изменение цвета масла указывает на наличие загрязняющих веществ, эмульгирование свидетельствует о наличии в масле воды. Вода в смазке приводит к появлению мутно-белого цвета. Светлые масла рассматриваются в проходящем свете на прозрачность. Для темных масел пробирка с маслом подогревается до 80°С, потрескивание в ходе нагрева свидетельствует о присутствии воды. Присутствие воды в смазочном материале не приводит к существенному изменению характеристик смазочного слоя, однако возникающие коррозионные процессы провоцируют абразивный износ.

Цвет пластичной смазки может изменяться от светло-желтого до темно-коричневого. О наличии примесей свидетельствует золотистый цвет в случае подшипников скольжения и более темный цвет в случаях подшипников качения. Попадание воды в смазку вызывает появление мутно-серого цвета.

Вязкость масла должна отвечать стандартному значению. Помимо лабораторных способов вязкость может оцениваться визуально и на ощупь. В случае пластичной смазки, мазь должна быть гладкой и мягкой, без посторонних включений. **Вискозиметр** — определяет условную вязкость в условных градусах °ВУ. Условная вязкость — отношение времени истечения 200 мл испытуемого масла при температуре испытания ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при температуре 20 °С. **Вискомер** — определяет вязкость по скорости опускания шарика в пробе масла.

Для определения наличия воды в смазочных материалах используют марганцово-кислый калий. Это вещество не растворяется в нефтепродуктах, но легко растворяется в воде. Окрашивание белой ткани, в которую завернуты кристаллы марганцово-кислого калия, указывает на наличие воды.

При определении содержания воды в маслах может быть использовано ее свойство взаимодействовать с гидридом кальция. Реакция идет с выделением теплоты, то есть экзотермическая. Повышение температуры масла после добавления в пробу навески гидрида кальция позволяет определить содержание воды.

Определение общего щелочного числа проводится с использованием в качестве реагента щавелевой кислоты $C_2H_2O_4$.

Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей основано на получении водной вытяжки из масел и определения в ней кислот и щелочей с помощью метилоранжа и фенолфталеина.

Присутствие абразивных механических примесей в маслах определяют пробой на истирание. На чистое плоское стекло наносят несколько капель испытуемого масла и закрывают вторым стеклом. Передвигают стекла одно относительно другого, плотно прижав их пальцами. Если в масле присутствуют абразивные механические примеси, то слышен характерный скрип.

Определение содержания механических примесей в маслах основано на нанесении капли масла на фильтровальную бумагу и сравнении полученных после воздушной сушки пятен с эталоном.

Хроматография относится к физическим методам разделения смесей веществ с использованием различия распределений их компонентов между подвижной и неподвижной фазами. Чаще всего используются методы бумажной хроматографии. Капля исследуемой жидкости (масла) наносится на бумагу и по размерам концентрических кругов определяется степень загрязнения. В центре, темным пятном, располагаются продукты износа, а снаружи — светлым кольцом вода, находящаяся в смазке (рис. 5.17).

Коэффициент воды:

$$K_{\text{воды}} = d_3/d_2,$$

где d_3 — диаметр внешнего кольца воды; d_2 — диаметр кольца масла. Допустимое значение 1,3 — это соответствует примерно 2 % воды в масле.

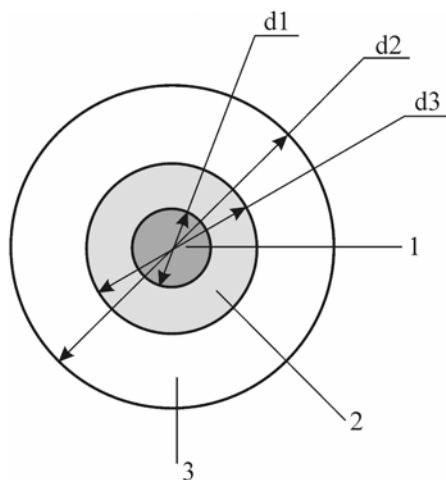


Рис. 5.17. Пояснение к использованию метода бумажной хроматографии:
1 — ядро; 2 — масло; 3 — вода

Коэффициент примеси:

$$K_{\text{примеси}} = d_2/d_1,$$

где d_1 — диаметр внутреннего кольца примесей; d_2 — диаметр кольца масла. Допустимое значение 1,4 соответствует примерно 0,7 % механических примесей.

По цвету ядра: допускаются — светло-желтый, темно-коричневый, серый цвета. Черный цвет ядра с блеском свидетельствует о работе смазки при повышенной температуре.

В общем случае масло считается отработанным и **подлежит замене** при выполнении хотя бы одного из следующих условий: повышение кислотного числа до 5 мг КОН на 1 г масла; изменение вяз-

кости на 25 % от первоначального значения; содержание воды в масле свыше 2 %, если водная вытяжка имеет кислую реакцию свыше 0,5 %; наличие в масле свыше 0,5 % механических примесей; присутствие в масле примесей, оказывающих абразивное воздействие, не допускается.

5.7. Уплотнение подвижных соединений

Область применения уплотнений — герметизация входных и выходных валов машин. Уплотнения предупреждают утечку масла из корпуса машин и защищают внутренние полости корпуса от внешних воздействий (проникновения пыли, грязи и влаги), герметизируют полости в машинах, содержащих газы и жидкости при высоких давлениях или под вакуумом. В роторных машинах необходимо уплотнение вращающихся валов и роторов; в поршневых машинах — уплотнение возвратно-поступательно движущихся частей.

Все системы уплотнений делят на **контактные** и **бесконтактные**. В первом случае уплотнение достигается непосредственным соприкосновением подвижной и неподвижной частей уплотнений. К числу этих уплотнений относят сальники, манжеты, разрезные пружинные кольца, торцовые уплотнения. Во втором случае контакт между частями уплотнения отсутствует. Уплотнительный эффект достигается с помощью центробежных сил, гидродинамических явлений. К числу этих уплотнений относят лабиринтные уплотнения, отгонные резьбы, отражательные диски, ловушки.

Контактные уплотнения обеспечивают более высокую герметичность соединений. Их недостатки: ограниченность допустимых скоростей относительного движения, изнашиваемость и потери уплотнительных свойств с износом. Бесконтактные уплотнения не имеют пределов по скорости относительного движения; их срок службы не ограничен; уплотнительные свойства ниже, чем у контактных уплотнений; полной герметизации можно добиться лишь применением дополнительных устройств.

Контактные уплотнения

Сальник — кольцевая полость вокруг вала, набитая уплотняющим материалом. Для набивки применяют хлопчатобумажные ткани, шнуры, вываренные в масле, фетр, асбест и подобные материалы с добавлением металлических порошков (свинца, баббита), графита, дисульфида молибдена и других самосмазывающихся веществ. Недостаток — повышенный износ, сопровождающийся потерей уплотнительных свойств, и непригодность к высоким окружным скоростям.

Для компенсации осуществляют затяжку набивки. Надежность сальника резко возрастает при подводе смазки. При смазке уменьшается коэффициент трения, тепловыделение и повышается герметичность. Периодическая подтяжка требует внимания обслуживающего персонала. Перетяжка сальника приводит к перегреву и выходу уплотнения из строя.

Манжетные уплотнения — выполненное из мягкого упругого материала кольцо с воротником, охватывающим вал. Под действием давления в уплотняемой полости воротник манжеты плотно охватывает вал с силой, пропорциональной давлению. Для обеспечения постоянного натяга воротник стягивают на валу кольцевой пружиной. Манжета должна быть расположена воротником навстречу уплотняемому давлению; при обратном расположении давление отжимает воротник от вала. При необходимости двустороннего уплотнения устанавливают две манжеты с воротниками, направленными в разные стороны. Наружную сторону манжеты плотно крепят к корпусу.

Манжеты чаще всего изготавливают из пластиков типа поливинилхлоридов и фторопластов, превосходящих кожу по упругости и износостойкости. Полихлорвиниловые манжеты выдерживают температуру до 80 °С. Фторопластовые манжеты могут работать при температурах до 300 °С.

Армированные манжеты для валов представляют собой конструкцию, устанавливаемую в корпус; манжету изготавливают из синтетических материалов. Воротник манжеты стягивается на валу кольцевой витой цилиндрической (браслетной) пружиной строго регламентированной силой.

Манжеты изготавливают прессованием или пресс-литьем (с опрессовкой внутренних металлических элементов) из эластичных, износостойких, масло- и химически стойких пластиков и резины. Браслетные пружины изготавливают из пружинной проволоки диаметром 0,2...0,5 мм и подверга-

ют закалке и среднему отпуску, защищают кадмированием, цинкованием. Поверхности, по которым работают манжеты, должны обладать твердостью не менее HRC 45 и иметь шероховатость не более $Ra = 0,16...0,32$ мкм.

Уплотнение разрезными пружинными кольцами надежно, оно может держать большие перепады давления и, при правильном подборе материалов, долговечно. Пружинные кольца изготавливают из закаленной стали, перлитного чугуна, кованой бронзы и устанавливают в стальном корпусе, термообработанном до твердости HRC 40...45. Наружную втулку уплотнения выполняют из закаленной, цементованной или азотированной стали. Кольца сажают в канавки корпуса с осевым зазором $0,005...0,020$ мм. Под действием перепада давления кольца прижимаются торцами к стенкам канавок корпуса. Обычно устанавливают два-три кольца; при повышенном перепаде давления число колец доводят до пяти-шести.

В многокольцевых уплотнениях, работающих при высоких перепадах давления, наиболее нагружено первое, ближайшее к герметизируемой полости кольцо. Со временем на торцевой поверхности колец образуется ступенчатая выработка — результат прижатия кольца к стенке канавки. Для равномерного распределения нагрузки между кольцами и для подвода масла к трущимся поверхностям (при уплотнении маслосодержащих полостей) в первом (или в нескольких кольцах) выполняют разгрузочные отверстия.

Уплотнение резиновыми кольцами, вводимыми в канавки вала или промежуточной втулки, имеет ограниченное применение. Кольца выполняют из мягких сортов маслостойкой и термостойкой синтетической резины. Недостатки уплотнений резиновыми кольцами — ненадежность работы, быстрый износ резины в процессе эксплуатации, неопределенность сил прижатия. Чаще применяют резиновые кольца в установках с возвратно-поступательным движением вала.

Бесконтактные уплотнения

Щелевые уплотнения. Наиболее простой вид бесконтактного уплотнения — кольцевая щель между валом и корпусом. Уплотняющая способность кольцевой щели пропорциональна длине и обратно пропорциональна величине зазора. При практически осуществимых длинах щели и величинах зазора уплотнение это малоэффективно.

Уплотнения отгонной резьбой применяют для герметизации полостей, содержащих жидкости. На валу или во втулке (или одновременно) выполняют резьбу (многозаходную). Направление резьбы согласовывается с направлением вращения вала так, чтобы витки отгоняли уплотняемую жидкость в корпус. Уплотнение — нереверсивное; при перемене направления вращения витки гонят жидкость в обратном направлении — из корпуса.

Уплотняющая способность отгонной резьбы пропорциональна длине резьбового пояса, скорости вращения вала, вязкости жидкости, обратно

пропорциональна высоте резьбы и очень зависит от зазора между гребешками витков и стенками отверстия. Уплотнение работает удовлетворительно, если радиальный зазор не превышает 0,05...0,06 мм. При зазоре свыше 0,1 мм уплотнение становится бесполезным.

Гребешковые уплотнения. Цель установки гребешковых уплотнений — разбить масляную пленку, ползущую по валу, и отбросить масло действием центробежных сил в кольцевую полость, откуда оно стекает в корпус по дренажным отверстиям. Маслосбрасывающие гребешки выполняют непосредственно на валу или на съемных деталях. При невысоких частотах вращения гребешок заменяют разрезным пружинным кольцом.

Уплотнение отражательными дисками. Отражательные диски устанавливают перед щелевыми уплотнениями с целью преградить доступ масла в щель и отогнать действием центробежной силы частицы масла.

Торцовые уплотнения принадлежат к числу контактных уплотнений. На валу устанавливается диск, фиксирующийся от вращения относительно вала. Диск постоянно прижимается пружиной к укрепленной на корпусе неподвижной шайбе. Уплотняемая среда (жидкость, газ) может просачиваться через уплотнение в двух направлениях: через торец диска и через кольцевой зазор между диском и валом.

Торцовое уплотнение состоит из двух уплотнений: торцового и радиального. Радиальное уплотнение работает в более легких условиях, чем торцевое, так как диск имеет незначительные перемещения вдоль вала. Здесь пригодно любое уплотнение — резиновыми кольцами, разрезными пружинными кольцами, сальниками, манжетами. Просачивание через радиальный зазор можно исключить полностью, уплотнив зазор мембраной, сальфоном.

Основное достоинство торцевых уплотнений заключается в том, что износ трущихся поверхностей компенсируется перемещением уплотняющего диска в осевом направлении под действием пружины. Торцевое уплотнение обладает свойством самоприрабатываемости; при правильном выборе материала трущихся поверхностей и подводе незначительного количества смазки уплотнение может работать в течение долгого времени при хорошем состоянии поверхностей контакта, обеспечивающем надежное уплотнение.

Для поверхностей трения применяют антифрикционные пары: сталь — баббит, закаленная или азотированная сталь — бронза, графитовые и угольные композиции, пластики. В наиболее ответственных случаях применяют твердые сплавы (литые и металлокерамические) в паре друг с другом или с более мягкими материалами из числа указанных выше. Поверхности трения обрабатывают до шероховатости $Ra = 0,16...0,32$ мкм. Подвижные уплотняющие диски должны обеспечивать строгую перпендикулярность

торцевой поверхности относительно цилиндрической поверхности, а также параллельность торцов подвижного и неподвижного дисков.

Комбинированные уплотнения. Для повышения надежности устанавливают последовательно два (и более) уплотнения разного вида. Некоторые виды уплотнений хорошо взаимосвязываются друг с другом и встраиваются в один узел без значительного увеличения габаритов.

Лабиринтные уплотнения применяют для уплотнения полостей, заполненных газом и паром. Действие их основано на торможении (завихрении) газа в узкой кольцевой щели с последующим расширением в смежной кольцевой камере большого объема. В кольцевой щели давление преобразуется в скоростной напор; по выходе газа из щели давление восстанавливается, но только частично; часть давления расходуется на необратимые потери при завихрении-расширении. Чем больше эти потери (чем меньше сечение щели и острее образующие ее кромки), тем меньшая доля давления восстанавливается в камере, тем эффективнее работает уплотнение.

Последовательной установкой ряда камер, разделенных узкими щелями, достигают существенного уменьшения перетекания. Лабиринтные уплотнения применяют при высоких окружных скоростях и температурах, когда исключена возможность установки контактных уплотнений.

Лабиринтное уплотнение не может полностью исключить истечение газа. Непрерывное движение газа вдоль лабиринта лежит в основе принципа действия лабиринта и является неременным условием функционирования. Лабиринт может только ослабить поток газа через уплотнение.

Гидравлические центробежные уплотнения состоят из крыльчатки, вращающейся в замкнутой кольцевой полости, в которую залита уплотняющая жидкость (масло, вода). Центробежной силой жидкость прижимается к периферии полости. Разность центробежных сил, действующих на жидкость со сторон крыльчатки, определяет давление, которое держит уплотнение.

Уплотнение возвратно-поступательно движущихся деталей. Уплотнение штоков сальником. Возвратно-поступательно движущиеся штоки уплотняют чаще всего сальниками с набивкой из материала, соответствующего условиям работы уплотнения. При невысоких давлениях и температурах (штоки гидравлических, пневматических цилиндров) применяют уплотнение резиновыми кольцами, устанавливаемыми в выточки корпуса.

В условиях высоких давлений и температур применяют сальники с металлическими пружинно-затяжными кольцами. Уплотнение состоит из набора чередующихся конических и обратно-конических колец. При затяжке наружные кольца упруго расширяются, прилегая к поверхности корпуса, внутренние кольца сжимаются, уплотняя поверхность вала.

Уплотнение сегментными кольцами. Сегментные металлические кольца — это кольца, разделенные в радиальном направлении на несколько

частей (обычно на три). Такое уплотнение сложно в изготовлении и требует тщательного монтажа, но оно надежно и способно выдерживать весьма высокие давления и работать при высоких температурах.

Уплотнение неподвижных соединений

Для обеспечения герметичности плоские стыки уплотняют листовыми прокладками из упругого материала. На прокладках ставят крышки маслосодержащих резервуаров, работающих под давлением или вакуумом, фланцы трубопроводов. Прокладочный материал выбирают в зависимости от условий работы, давления, температурного режима. Для уплотнения применяют: прокладочную бумагу толщиной 0,05...0,15 мм, кабельную бумагу (бумагу, пропитанную бакелитом или другими синтетическими смолами), прокладочный картон толщиной 0,5...1,5 мм, прессшпан. Наилучшими свойствами обладают прокладки из синтетических материалов.

Для соединений, работающих при высоких температурах, применяют прокладочные материалы с асбестом (асбестовую бумагу, асбестовый картон). Паропроводы уплотняют паронитом — композиция асбеста с натуральной или синтетической резиной. Паронит выдерживает температуру до 450°С. При высоких температурах применяют листовые прокладки из пластичных металлов — листового свинца, алюминиевой и медной фольги. Такие прокладки требуют повышенного усилия затяжки.

Широко применяют герметики — уплотняющие мази разнообразной рецептуры, преимущественно на основе натуральной или синтетической резины, с соответствующими растворителями. Для уплотнений, работающих при высоких температурах, применяют термостойкие мази. Герметики выпускаются в виде паст и лаков. Их наносят на уплотняемые поверхности поливом, кистью или шпателем.

Прокладки из мягких материалов после однократного пользования подлежат замене. Применяют армированные прокладки, состоящие из упругого материала (резины, пластика, асбеста и т. д.), заключенного в оболочку из мягкого металла (меди, латуни). Параметр *Ra* шероховатости должен быть не более 1,6 мкм, иначе добиться герметичности соединения трудно. Круглые фланцы уплотняют также упругими металлическими кольцами, чаще всего Z-образного сечения (так называемые гофровые кольца). Круглые фланцы с центрирующими буртиками уплотняют шнурами из упругих материалов (резины, синтетики), которые закладывают в канавки, проделанные в буртике. При таком расположении на стыке обеспечивается чистый контакт «металл по металлу». Способ применяют только для «холодных» стыков.

Самый простой способ уплотнения ввертных деталей — смазывание витков резьбы герметизирующими составами. При этом способе затруд-

няется отвинчивание деталей вследствие «прилипания» герметизирующей мази к резьбе после некоторого периода эксплуатации.

Не рекомендуется применяемая в ремонтных условиях «подмотка» ближайших к торцу ввертной детали витков резьбы.

Простейший вид уплотнения — установка резинового кольца круглого сечения в канавке гильзы. В свободном состоянии кольцо выступает над поверхностью гильзы, при введении гильзы в рубашку кольцо сжимается и уплотняет стык гильзы и рубашки. Для увеличения надежности уплотнения устанавливают последовательно несколько колец.

Глава 6

УХОД И НАДЗОР

6.1. Шпоночные, резьбовые соединения, тормоза

Уход и надзор за шпоночными соединениями

Проверку шпоночных соединений проводят во время приемки смены, при ревизии и ремонтах оборудования. Во время приемки смены осмотру подлежат шпоночные соединения, расположенные вне закрытых корпусов и испытывающие знакопеременную нагрузку.

При осмотре шпоночных соединений: проверить надежность крепления (стопорения) клиновых и тангенциальных шпонок; осмотреть, не смещена ли шпонка и не ослаблена ли посадка в пазу.

Шпоночные соединения подлежат ремонту в случае, если при работе узла слышен стук; ослабленные шпонки заменить. Исправление разработанного шпоночного паза допускается при условии, если ширина при этом увеличится не более, чем на 15 % первоначального размера.

Уход и надзор за болтовыми соединениями

В течение всего времени работы механизма болтовые соединения должны быть «намертво» закреплены, независимо от места их установки.

Не допускать ослабления болтовых креплений: систематически ослабляющиеся болтовые соединения подлежат замене; узлы с часто ослабляющимися болтовыми соединениями подлежат конструктивному изменению, обеспечивающему надежность крепления.

Отверстия для болтов должны быть выполнены в зависимости от назначенного типа болтов (чистые, получистые). Болты устанавливают только тех типов и размеров, которые предусмотрены чертежом. Не допускается эксплуатация машин, механизмов и узлов, в которых количество установленных болтовых соединений уменьшено против предусмотренного чертежом.

Для предупреждения самоотвинчивания гаек и винтов обязательно применяют один из следующих способов стопорения: контргайкой; пружинной шайбой; шплинтом разводным; стопорной шайбой; шайбой с усиками (рис. 6.1).

Пружинные шайбы должны прилегать к опорным поверхностям по всему периметру. Не допускается установка пружинных шайб, у которых развод концов в месте разреза меньше половины толщины тела шайбы.

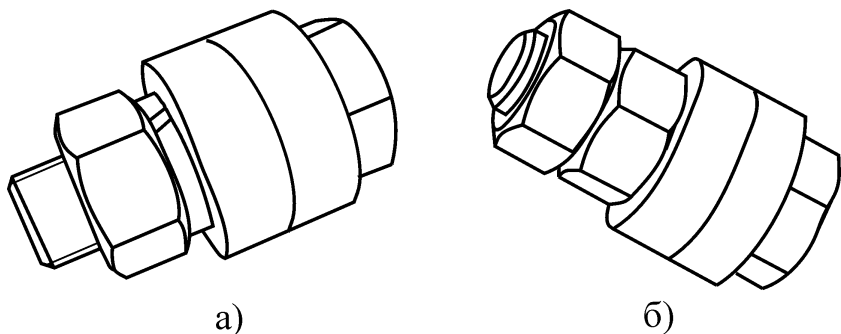


Рис. 6.1. Виды стопорения а) пружинной шайбой, б) контргайкой

При болтовом соединении деталей с наклонными поверхностями устанавливают косые шайбы.

Затяжку и отвинчивание болтов и гаек размером до М16 мм проводят стандартными гаечными ключами (длиной, равной примерно 15 диаметрам болта) без удлинителей. При завинчивании гайка должна перемещаться по нарезке болта без качания. Зев ключей должен соответствовать размерам гаек. Не допускается пользование ключами большего размера с подкладыванием в зев ключа прокладок.

В собранном соединении стержень болта (шпильки) не должен выступать над гайкой более чем на 2...3 витка резьбы. Не допускается применение удлиненных болтов с установкой под гайки нескольких шайб или гаек большего диаметра.

Шпильки должны быть плотно (до упора) завернуты на краске (сурик, белила) в своих гнездах. Шпильки, вывертывающиеся при отвинчивании гаек, подлежат замене. Длина нарезанной части шпилек и глубина отверстий для них должны соответствовать указаниям.

При приемке смен обязательной проверке подлежат болтовые соединения, испытывающие переменные нагрузки, либо воздействие высоких температур.

Рекомендуемые моменты затяжки и осевые усилия для затяжки резьбовых соединений приведены в табл. 6.1.

Уход и надзор за тормозами

При приёмке смен осмотру и опробованию подлежит каждый тормоз, установленный на оборудовании. При осмотре:

- а) проверить, плотно ли прилегает фрикционный материал тормозных колодок или лент к тормозному шкиву при замкнутом тормозе;
- б) проверить нагрев тормозного шкива, а также неравномерность и степень выработки фрикционной облицовки колодок или лент;

Таблица 6.1

Рекомендуемые моменты затяжки и осевые усилия для затяжки резьбовых соединений

класс качества																	
3,6 (4D)			5,6 (5D)			6,9 (6G)			8,8 (8G)			10,9 (10K)			12,9 (12K)		
P, N	M, N, M		P, N	M, N, M		P, N	M, N, M		P, N	M, N, M		P, N	M, N, M		P, N	M, N, M	
2059	1,96	2736	2,05	5,10	6257	6,03	8806	8,48	10591	10,2							
2903	3,43	3864	4,51	8836	10,3	12405	14,71	14906	17,65								
4234	5,59	5649	7,45	10885	14,22	12945	17,16	18191	24,52	21771	28,44						
5315	8,24	7090	10,79	13680	21,57	16230	25,5	22752	35,3	27361	42,17						
8473	16,67	11278	21,57	21771	42,17	25792	50,01	36285	70,61	46542	85,32						
12356	28,44	16475	38,25	31773	73,55	37658	87,28	52956	122,58	63547	147,10						
16966	45,11	22654	60,8	43640	116,7	51681	138,27	72668	194,17	87280	235,36						
23340	69,63	31087	93,16	60017	178,48	71197	210,84	100028	299,1	120132	357,94						
28341	95,13	37854	127,49	72962	245,17	86495	289,3	121603	411,88	146120	490,34						
36481	135,33	48641	180,44	93850	348,14	111306	411,88	156417	578,5	187798	696,28						
45601	182,4	60802	245,17	117190	470,72	139255	558,98	195644	784,54	234380	941,41						
52564	230,46	70020	308,91	135333	598,21	160340	710,99	225554	1000,28	270665	1196,42						
69235	343,23	92281	460,92	177992	887,51	210844	1046,32	296163	1480,81	3559,84	1775,01						
84044	465,82	112287	622,73	215748	1206,23	255955	1421,97	353906	2010,38	432479	2402,64						
104932	632,53	139746	848,28	269685	1627,91	319699	1931,92	449147	2716,46	539369	3265,63						
123074	813,96	164263	10880	216757	2098,64	374616	2481,1	527601	3491,19	632533	4197,27						
148081	1059,12	197115	1412,17	380540	2716,46	451109	3226,41	633513	4530,7	761001	5442,72						
169166	1304,29	225554	1745,59	435418	3363,7	575833	3991,33	725697	5609,44	870836	6727,40						
198096	1637,72	264781	2177,09	509949	4207,08	604093	4991,62	850242	7011,8	1019899	8414,16						
222612	1980,96	297143	2638	573693	6060,55	679603	9021,32	956154	8473	1147385	10149,94						
267723	2539,94	356964	3393,12	688431	6541,08	815918	7747,3	1147385	10885,45	1377843	13091,96						
308911	3167,57	411882	4226,69	793363	8149,38	940463	9649,8	1323906	13562,29	1588687	16279,14						
360887	3932,49	481509	5246,59	927715	10100,91	1098357	11964,19	1544557	16867,54	1853468	20201,82						
407959	4736,64	544272	6305,71	1049318	12160,32	125452	14415,86	1730498	20299,89	209863,6	24320,64						

в) осмотреть рабочую поверхность тормозного шкива; обнаруженные масляные подтёки удалить;

г) проверить крепление шарнирных соединений, рычагов и тяг тормоза. Не допускается работа механизма при неисправном или неотрегулированном тормозе.

В течение смены необходимо:

а) следить за нагревом шкива и фрикционной облицовки тормозных колодок или лент; при чрезмерном нагреве этих деталей (появление дыма, запаха гари) проверить регулировку тормозной пружины и равномерность отхода колодок или лент;

б) при резком или слабом торможении отрегулировать тормоз;

в) не реже одного раза в неделю смазывать шарнирные соединения, оси и втулки рычагов тормоза;

г) проверить величину хода якоря электромагнита или угла поворота его. Если ход якоря недостаточен для компенсации износа облицовки на протяжении суток, отрегулировать тормоз.

Периодические осмотры тормозов производят не реже одного раза в 30...45 дней.

При периодических осмотрах тормозов дополнительно нужно:

а) проверить степень износа фрикционного материала колодок или лент и обода тормозного шкива;

б) проверить, одновременно и равномерно ли отходят колодки (ленты) от шкива при растормаживании;

в) проверить степень износа шарнирных соединений рычагов и тяг тормоза.

Ход или угол поворота якоря электромагнита нужно отрегулировать таким образом, чтобы при его крайнем положении обеспечивалось надёжное торможение при максимальной выработке фрикционного материала.

При растормаживании тормоза колодки (ленты) должны отходить от шкива одновременно и равномерно, образуя одинаковые зазоры с поверхностью шкива на всём протяжении обкладок фрикционного материала.

Тормоз устанавливается на быстроходном валу редуктора. Тормозные накладки бракуются при износе 50 % (табл. 6.2, 6.3). Для механизмов крайков применяют тормоза нормально-замкнутые.

6.2. Соединительные муфты

Анализ конструкции муфт

В металлургической промышленности часто встречающихся следующие конструкции муфт.

1. Фланцевая муфта является наиболее надёжным и распространённым видом жестких муфт. Состоит из двух полумуфт с фланцами, насаживаемыми на концы валов, фланцы стягиваются болтами.

Таблица 6.2

Допускаемый износ деталей тормозов

Радиальное биение шкива, мм		Осадка главных пружин, % от новых	Тормозные накладки		Износ шарниров, % от паспортного	
Новый	Отремонтированный		Клепаные	Клееные	текущий ремонт	капитальный ремонт
0,002 <i>D</i>	0,005 <i>D</i>	10	0,4 δ	0,6 δ	30	60

Примечание: 1. *D* — диаметр шкива; δ — первоначальная толщина накладки. 2. Канавки на поверхности шкива глубиной свыше 0,5 мм и трещины в любых частях шкива подлежат устранению.

Таблица 6.3

Нормали контроля тормозов

Неисправность	Предел ремонта	Предел использования	Примечание
Износ обода тормозного колеса	уменьшение до 40 % начального размера	до 50 %; для тормоза подъема — 30 %	
Неровность фрикционной поверхности		меньше чем 2,0 мм	должна быть подвергнута резанию
Износ футеровки		уменьшение до 40 % начального размера	
Зазор между тормозным шкивом и футеровкой	меньше чем 1/150 \varnothing шкива	«1/1200»	
Температура на поверхности шкива		при торможении 150 °С и выше, появление цветов побежалости	

Для обеспечения соосности полумуфты центрируются либо выступом на одном фланце и выточкой на другом, либо промежуточными полукольцами. Для большей точности сопряжения и предотвращения изгиба валов в муфтах должна быть обеспечена строгая перпендикулярность торцовых поверхностей полумуфт к оси вала. Материал — сталь 40 и 35Л.

Полумуфты поочередно соединяются полустычными болтами, вставленными в отверстие с зазором, и чистыми болтами, вставленными в отверстие без зазора.

2. Зубчатые муфты — наиболее распространенный вид жестких компенсирующих муфт, применяются для соединения горизонтальных соосных валов и способны компенсировать смещения осей валов.

Зубчатая муфта общего назначения состоит из двух полумуфт с внутренними зубцами и двух втулок с наружными зубцами.

Зубчатые втулки выполняются с прямолинейной или с эллиптической образующей. Компенсация смещений валов достигается перекосом втулок относительно обоям за счет боковых зазоров и сферической поверхности наружных зубьев.

3. Кулачково-дисковые муфты — предназначены для соединения валов со значительными радиальными смещениями, допускают незначительные угловые и осевые смещения. Муфта состоит из двух полумуфт и промежуточного диска с кулачками, расположенными крестообразно и входящими в соответствующие пазы на полумуфтах. Передача крутящего момента осуществляется кулачками диска, которые при смещенных валах скользят по боковой поверхности пазов. Центр диска при вращении валов описывает в пространстве окружность.

Сопряжение кулачков и пазов принимается по посадке с зазором. Наличие зазоров в данном сопряжении ухудшает работу муфты ввиду увеличения кромочных давлений на поверхности контакта.

Недостатки: неудовлетворительная работа даже при малых перекосах; значительный износ рабочих поверхностей; наличие центробежной силы, действующей на диск; потери на трение и необходимость в смазке, пониженная надежность работы. Достоинство: способность компенсировать значительные радиальные смещения осей валов.

4. Шарнирные муфты — используют принцип работы пространственного шарнира Гука, служат для передачи крутящего момента между валами, имеющими большое угловое смещение осей, которое в процессе вращении муфты может изменяться.

Обычно муфта состоит из двух вилок и промежуточной детали в виде крестовины, шарнирно соединенной с концами вилок. Соединяя две муфты, можно обеспечить передачу момента при значительном радиальном смещении осей валов.

Шарнирные муфты применяются: для компенсации неточности взаимного расположения валов, возникающей при сборке; передачи вращения валам, положение которых изменяется во время работы.

При наличии углового смещения осей соединяемых валов, вращение ведомого вала одинарной шарнирной муфты происходит неравномерно при равномерном вращении ведущего вала. Периодическое отставание и опережение ведомого вала относительно номинальных положений, соответствующих равномерному вращению, вызывает динамические нагрузки.

5. Муфты со змеевидными пружинами. Полумуфты соединяются упругим элементом, выполненным в виде змеевидной пружины, расположенной на цилиндрической поверхности. Муфта состоит из полумуфт, имеющих зубья, между которыми помещается 6...8 секций змеевидных пружин. Для предохранения пружины от выпадения и удержания смазки (обычно пластичной) служит кожух, состоящий из двух половин, стянутых винтами.

Пружина является наиболее ответственной деталью муфты. Она изготавливается из пружинной стали с пределом прочности $\sigma_m = 170$ МПа. В тяжелых муфтах пружины устанавливаются в два-три ряда. Такие муфты отличаются высокой надежностью в работе и малыми габаритными размерами. Эти свойства обусловили их широкое распространение в тяжелом машиностроении (прокатные станы, паровые турбины), несмотря на сложность конструкции, нетехнологичность и необходимость контроля в эксплуатации.

6. Муфты с торообразным упругим элементом. Упругим элементом муфты является резиновая или резинокордная оболочка. Резинокордная оболочка сложнее в изготовлении, чем резиновая, однако её срок службы в несколько раз больше резиновой. Эти муфты отличаются высокими компенсационными свойствами, способностью уменьшать динамические нагрузки благодаря малой крутильной жесткости и высокой демпфирующей способности. К недостаткам муфт относят их большие размеры по диаметру и появление осевых нагрузок на опоры валов, вызываемых центробежными силами, действующими на упругий элемент.

В муфте с торообразной оболочкой полумуфты соединены упругим элементом в виде торообразной оболочки, изготовленной из резины или армированной резины. Нажимное кольцо состоит из полуколец, притянутых винтами к кольцу. С помощью винтов борт упругого элемента зажимают между фланцем полумуфты и нажимным кольцом, создавая силы трения между резиной и металлом. Ширину кольца выбирают так, чтобы при контакте металлических частей в результате затяжки винтов резина сжималась на заданную величину. Конструкция позволяет проводить замену упругого элемента без осевого смещения полумуфт.

Муфта отличается повышенной способностью надежно работать при значительных взаимных смещениях соединяемых валов. Чем больше эти смещения, тем меньше срок службы упругого элемента, так как при радиальном и угловом смещении валов в резине возникают циклические напряжения, вызывающие её нагрев и снижение прочности.

7. Втулочно-пальцевая муфта. Состоит из двух полумуфт, соединённых болтами — пальцами с надетыми на них кольцами из эластичного материала (резины, кожи). Полумуфта служит одновременно тормозным шкивом. Во фланце полумуфты коническими хвостовиками укрепляются пальцы, на которые надеваются упругие резиновые втулки. Упругие втулки входят в отверстия, расположенные во фланце полумуфты.

8. Муфты с металлическими дисками. В конструктивном отношении муфты с металлическими дисками весьма просты и не требуют особого ухода в процессе эксплуатации (рис. 6.2).

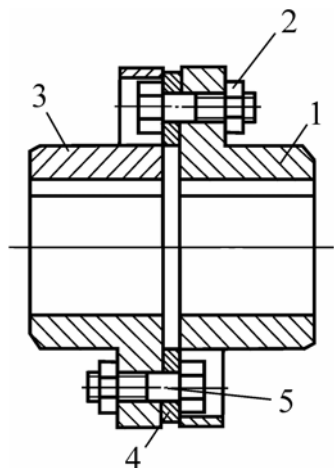


Рис. 6.2. Муфта с металлическими дисками:

1 — правая полумуфта; 2 — гайка; 3 — левая полумуфта; 4 — диски; 5 — болт

компенсировать значительные по величине осевые смещения и снизить осевую жесткость муфты. Данные муфты не требуют подвода смазки, на переходных режимах допускают повышенные расцентровки сочлененных валов, а также обладают высокими компенсирующими, виброизолирующими и демпфирующими свойствами.

Плоскости разъема полумуфт должны быть строго перпендикулярны осям валов. Полумуфты закрепляются на валах при помощи шпонок (на коническом валу — осевой гайкой); фиксация полумуфт в осевом направлении проводится торцевым креплением или установочными винтами.

Уход и надзор за муфтами

При приемке смен муфты осматривают в тех случаях, когда об этом даны указания в правилах технической эксплуатации отдельных видов оборудования. При осмотрах необходимо:

- проверить, не нарушилась ли посадка полумуфт на валах;
- проверить (путем простукивания) надежность затяжки болтовых креплений в месте разъема муфт;
- осмотреть состояние и крепление кожухов муфт.

Муфта состоит из двух одинаковых полумуфт 1 и 3 и набора пластинчатых дисков 4. Болтами 5 и гайками 6 диски 4 притягиваются к полумуфте 1, а болтами 7 и гайками 8 — к соединительной вставке 2.

Муфты используются в реверсивных приводах и механизмах с дистанционным управлением, требующих точного повторения исполнительным элементом заданной программы. Муфты способны работать при значительных угловых и осевых смещениях. Радиальная жесткость таких муфт соизмерима с жесткостью валов, поэтому, при наличии радиальных смещений, применяются сдвоенные муфты. Сдвоенные муфты применяются в случаях, когда необходимо

Не реже одного раза в 10...15 суток проверяют наличие масла в зубчатых муфтах и доливают до контрольного уровня. Для проверки количества масла в муфте рекомендуется заполнить муфту мерным количеством смазочного материала, повернуть ее так, чтобы масло появилось у заливного отверстия (рис. 6.3). Это положение нужно отметить кернением на верхней точке фланца, чтобы в дальнейшем знать положение муфты для заполнения маслом. Не допускается эксплуатация зубчатых муфт, у которых вследствие износа уплотнений при работе происходит разбрызгивание (утечка) смазочного материала. Зубья муфт со змеевидными пружинами смазывают не реже одного раза в 15 суток.

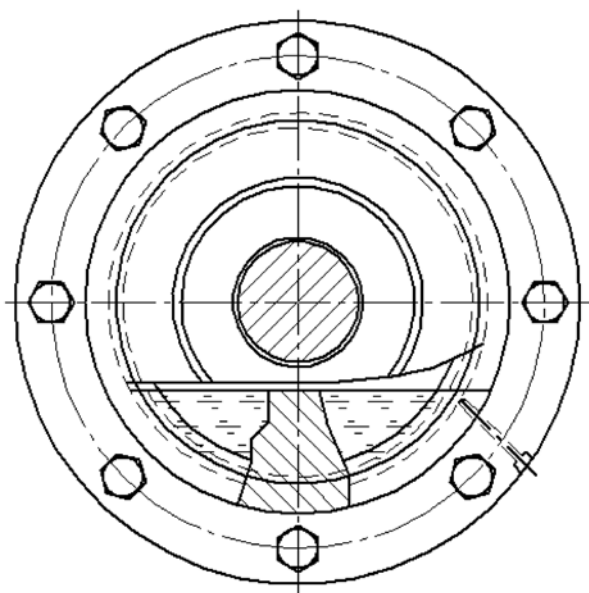


Рис. 6.3. Схема проверки уровня масла в зубчатой муфте

Ревизии и ремонт соединительных муфт

Ревизию муфт необходимо проводить при плановых остановках оборудования на ремонт в следующие сроки: а) поперечно-свёртных, продольно-свёртных, втулочно-пальцевых и зубчатых — не реже одного раза в 45 суток; б) компенсирующих муфт с промежуточным диском — не реже одного раза в месяц; в) муфт со змеевидной пружиной (Бибби) — не реже одного раза в 15 суток.

Перед разборкой муфт нужно проверить маркировку или провести кернение: зубчатых муфт на обеих полумуфтах и на боковых поверх-

ностях втулки и полумуфты; муфт со змеевидной пружиной на зубьях обеих полумуфт.

При ревизии муфт (независимо от конструкции) необходимо:

а) проверить состояние полумуфт, нет ли трещин; наличие трещин обнаруживается по звуку при легком обстукивании молотком, по масляным подтекам и скоплению пыли возле поврежденных мест или по пятнам, появляющимся при легком обстукивании молотком;

б) проверить стабильность посадки полумуфт на валах;

в) проверить величину зазора между торцевыми плоскостями;

г) проверить взаимное расположение осей соединяемых валов.

При смещении вдоль оси, или при ослаблении посадки на валу полумуфты заменяют.

Не допускается устанавливать прокладки между валом и отверстием ступицы полумуфт и кернение вала для обеспечения плотности соединения; запрещается приваривать полумуфты к валу. Полумуфты соединительных муфт всех типов, втулки зубчатых муфт, у которых обнаружена трещина, подлежат обязательной замене.

При ревизии зубчатых муфт необходимо (табл. 6.4—6.6):

а) проверить состояние и износ зубьев полумуфт и втулок;

б) проверить состояние уплотнительных колец;

в) проверить взаимное положение осей соединяемых валов;

г) при сборке после ревизии или ремонта промыть внутреннюю полость корпуса керосином и после просушки залить свежим смазочным материалом.

Не допускается эксплуатация зубчатых муфт при поломке более 10 % зубьев, при износе зубьев по толщине свыше 30 % первоначального размера. Высохшие фетровые и войлочные кольца нужно промыть в керосине, просушить и пропитать в расплавленной смазке; изношенные уплотнительные кольца заменить.

В муфтах со змеевидной пружиной при ревизии проверяют состояние пружин и зубчатых дисков. Лопнувшие пружины, а также пружины, на рабочей поверхности которых обнаружены трещины и вмятины, заменяют; годные пружины при снятии маркируют и укладывают на то же место, где они были ранее; задиры на поверхностях зубьев зачищают напильником.

Зубчатые диски муфт со змеевидными пружинами подлежат замене при износе зубьев по толщине на 30 % от первоначального размера, а также при наличии поломанных зубьев, если они распределяются неравномерно по окружности и число их превышает 10 % общего количества зубьев. Процент износа зубьев определяется по средней величине замеров толщины зуба в трех точках по высоте.

В поперечно-свёртных, втулочно-пальцевых и в муфтах с промежуточным диском:

Таблица 6.4

Нормали контроля осевых соединений

Неисправность	Предел ремонта	Предел использования	Примечание
Неисправная центровка муфты	Радиальное смещение $\pm 0,05$ мм Торцевое смещение $\pm 0,05$ мм При высокой скорости		При появлении вибрации провести центровку осей
	В 4-х точках на окружности разность измерений должна быть не более 0,02 мм	Износ отверстия для болтов допускается до 5 % диаметра	
	В других случаях: $\pm 0,1$ мм		
Перекус осей валов зубчатой муфты	1° и менее	2°	$\text{tg} 1^\circ = 0,0174$

Таблица 6.5

Допуски на перекус и радиальное смещение осей муфт

Тип муфт	Диаметры муфт, мм	Допуски, мм	
		перекус на 1000 мм длины	радиальное смещение осей
Зубчатые	от 150 до 300	0,5	0,3
	от 300 до 500	1,0	0,8
	от 500 до 900	1,5	1,0
	от 900 до 1400	2,0	1,5
Пальцевые	от 100 до 300	0,2	0,05

Таблица 6.6

Допускаемый износ зубьев зубчатых муфт по боковому зазору

Номер муфты	Модуль зуба	Допускаемый боковой зазор, мм
1,2	2,5	1,5
3,4,5	3	1,7
6,7,8	4	2,4
9,10	6	3,6
11,12	8	4,8
15	10	6

а) величина относительного смещения соединяемых валов, измеренная при помощи угольника и шупом в четырех диаметрально расположенных точках наружной поверхности полумуфт, не должна превышать 0,3 мм. При увеличении зазора выше указанного предела механизм центрируют;

б) разность величины зазора, измеренная клиновым шупом в диаметрально противоположных точках, не должна превышать 0,001 наружного диаметра полумуфт; при увеличении этого предела механизмы подлежат центровке для обеспечения соосности соединяемых валов.

В муфтах с промежуточным диском зазор между выступами 4 диска 3 и впадинами полумуфт 1,2 не должен превышать 0,5...2,0 мм, в зависимости от размера муфт и мест их установки.

Во втулочно-пальцевых муфтах выработка отверстий для крепления пальцев не допускается. Максимальный зазор между упругими кольцами и отверстиями в полумуфте допускается не более 3 % от диаметра пальца (считая его на сторону). При большем износе кольца нужно заменить, а при выработке отверстий заменить полумуфты.

Дефекты полумуфт. Основными дефектами являются: а) трещины; б) износ отверстия под вал. Полумуфты с трещинами любого характера и расположения подлежат браковке.

Полумуфты считаются годными, если вследствие износа отверстия зазор в сопряжении увеличится не более чем в 1,5 раза от максимально возможного при изготовлении. При размере отверстия, превышающем допустимый, необходимо ремонтировать отверстие наплавкой.

6.3. Подшипники качения

Уход и надзор за подшипниками качения

При приемке смены обязательно осмотру подлежат: подшипники качения, в работе которых обнаружены неисправности в предыдущей смене; подшипники ответственных машин и механизмов. При осмотре проверяют степень нагрева подшипников и поступление к ним смазочного материала.

При уходе и надзоре за узлами с подшипниками качения необходимо: проверять температуру нагрева подшипников, выявлять и устранять причины, вызывающие чрезмерный нагрев; следить за наличием и состоянием смазочного материала, обеспечивать своевременную подачу смазки назначенного сорта и в соответствии с принятым режимом смазывания; следить за характером шума, производимого работающими подшипниками; проверять состояние уплотняющих устройств и принимать меры для предохранения подшипников качения от попадания в них пыли, окалины и пр.

Температура подшипников качения, работающих в нормальных условиях, не должна превышать 50...60°С.

Нагрев подшипников сверх допустимых пределов может быть вызван одной из следующих причин: применением некачественной, затвердевшей смазки; загрязнением подшипника пылью или другими твердыми механическими частицами; отсутствием смазочного материала или чрезмерным заполнением им корпуса подшипника (в быстроходных подшипниках качения); трением вращающихся деталей узла о неподвижные части (например, войлочного уплотнения о вал); неправильной сборкой подшипникового узла (отсутствие нужных зазоров, чрезмерное искривление или перекося вала, слишком тугая посадка подшипников, вызывающая защемление тел качения).

Ход правильно собранного узла с подшипниками качения должен иметь легкий ход, без заедания, при незначительном, ровном шуме. Глухой, прерывистый звук указывает на загрязнение подшипника; звенящий, металлический — об отсутствии смазки; скрежет и резкое частое постукивание свидетельствуют о разрушении сепаратора или тел качения.

При смазке подшипников качения централизованными системами не менее одного раза в смену нужно проверять работу питателей. Ход поршней дозирующих питателей должен быть отрегулирован с таким расчетом, чтобы подаваемая порция смазки не превышала потребности каждого из обслуживаемых подшипников.

Выбор смазочных материалов проводят в соответствии с условиями работы подшипниковых узлов: температурные условия, запыленность, наличие влаги, частота вращения, действующие нагрузки.

При эксплуатации подшипниковых узлов необходимо внимательно следить за состоянием уплотняющих устройств. Всякие неисправности, связанные с нарушением пыленепроницаемости и возникновением утечки через уплотнения, должны быть немедленно устранены.

При смазке подшипников колпачковыми или пресс-масленками во время заправки нельзя допускать попадания пыли, окалины, механических частиц, вызывающих износ подшипников качения. Перед заправкой наружную поверхность масленок нужно очистить от грязи и пыли и протереть.

Ревизию подшипников качения общего назначения проводят не реже одного раза в 1...1,5 года, а крупногабаритных подшипников ответственных машин — не реже одного раза в 2 месяца (в зависимости от конструктивных особенностей и условий работы механизмов). При насыщенности окружающего пространства пылью и влагой ревизию подшипников проводят раз в 3 месяца.

При ревизии подшипников качения необходимо проверить: состояние и качество поверхности беговых дорожек, тел качения и сепараторов (там, где это допускает конструкция подшипников); величину радиального и осевого зазоров и плотность посадки колец подшипника; состояние уплотнительных устройств.

Подшипники качения подлежат замене при наличии одного из повреждений или видов неисправности: отслаивание или оспины усталостного выкрашивания на телах качения или беговых дорожках колец; коррозионные раковины на дорожках и телах качения; трещины, сколы бортов, колец; трещины колец, роликов, шариков; трещины, излом сепаратора; задиры на рабочих поверхностях колец и тел качения; износ и обрыв заклепок сепаратора; забоины на сепараторе; рифление на рабочих поверхностях колец и тел качения; выработка на рабочих поверхностях колец и тел качения; вмятины на рабочих поверхностях; поверхностная коррозия на рабочих поверхностях подшипника; цвета побежалости на рабочих поверхностях; увеличение радиального зазора; прочие дефекты; увеличение радиального зазора (вследствие износа) в подшипниках качения ответственных машин свыше 0,5 мм, в менее ответственных механизмах (транспортерах, роллангах, блоках и др.) — более 0,8...1,0 мм.

Бывшие в работе подшипники качения общего назначения допускаются к повторной установке при условии, если величина радиального зазора не превышает 0,2 мм.

При частой сборке и разборке узлов с подшипниками качения посадочные места перед сборкой смазывают графитной смазкой либо смесью минерального масла с мелкочешуйчатым серебристым графитом.

В подшипниках, устанавливаемых враспор, предусматривают осевой зазор для компенсации теплового удлинения вала (0,12 мм на 1 м длины на каждые 10°C) и ошибок в размерах из-за неточного изготовления и сборки сопряженных деталей (0,1 мм). Для регулирования величины зазора необходим комплект прокладок (латунных, стальных) различной толщины (0,05...0,5 мм) для установки между корпусом и торцом крышки.

Регулировка двух- и четырехрядных конических роликоподшипников проводится шлифовкой дистанционных колец.

В целях обеспечения плотности посадки колец не допускается кернение посадочных мест и установка под кольцом подшипника промежуточных втулок или прокладок.

В редукторах с шевронными или двухвенцовыми косозубыми колесами должен быть зафиксирован в осевом направлении относительно корпуса только вал последней ступени редуктора. Остальные валы редуктора должны быть самоустанавливающимися, для чего наружные кольца подшипников валов должны иметь возможность осевого перемещения.

При обнаружении на поверхности шеек задиров, рисок или других повреждений поврежденные места нужно зашлифовать мелким наждачным полотном и отполировать.

Войлочные кольца изготавливают из плотного длинноволокнистого войлока. Перед установкой в гнезда войлочные и фетровые кольца пропитывают расплавленной пластичной смазкой в течение 30...40 мин. При

каждой ревизии подшипниковых узлов войлочные и фетровые уплотнительные кольца нужно очистить от грязи, промыть в керосине, высушить и заново пропитать расплавленной смазкой. Обуглившиеся фетровые, кожаные и войлочные кольца подлежат замене.

Необходимо проводить выверку взаимного положения валов при ревизии узлов с подшипниками качения.

Корпуса подшипников качения, вращающихся с числом оборотов свыше 300 мин.⁻¹ и обслуживаемых централизованными станциями, нужно снабдить предохранительными пробками для отвода избыточной и отработанной смазки. При закладной смазке подшипников заполняют корпуса смазочным материалом не более чем на 2/3 свободного пространства корпуса.

Подшипники, работающие в нормальных условиях, при закладной смазке нужно очищать, промывать и перезаряжать не реже одного раза в 6 месяцев; подшипники, работающие в условиях повышенной температуры (выше 60°C) или насыщенности окружающего пространства пылью — не реже раза в 3 месяца.

Повреждения подшипников качения. Основные причины и виды отказов подшипников качения — осповидный, окислительный и абразивный износ, поломки сепаратора, тел качения, наружного и внутреннего колец, дефекты монтажа.

Осмотром выявляется наличие трещин, усталостных разрушений, забоин, вмятин, коррозии, износа. Не допускаются к сборке подшипники, имеющие трещины или выкрашивание металла на кольцах и телах качения; цвета побежалости; выбоины и отпечатки (лунки) на беговых дорожках колец; очаги глубокой коррозии, чешуйчатые отслоения, раковины; трещины, забоины и вмятины на сепараторе, препятствующие плавному вращению подшипников, неравномерное расположение тел качения.

Осмотр подшипников. Для выявления повреждений подшипников визуальным методом используют лупу 7...10 кратного увеличения. Внешний вид подшипника проверяют при освещенности 500...1000 лк. Внешним осмотром выявляются характерные дефекты деталей (трещины, коррозию, истирание материала).

Осматриваются внешние поверхности деталей подшипника без проворачивания колец. Осматривается состояние поверхностей дорожек качения и тел качения неразборных подшипников (с проворачиванием колец).

В подшипниках с массивным сепаратором необходимо осмотреть центрирующие поверхности сепараторов. Разборные подшипники осматривают в разобранном виде. При обнаружении на одной детали признаков усталостного выкрашивания материала бракуется весь подшипник.

У подшипников с цилиндрическими роликами обращают особое внимание на состояние поверхностей дорожек качения и бортов. При осмот-

ре бортовых колец подшипников особое внимание уделяется кольцевым выточкам, где могут возникать трещины.

При клепаном сепараторе состояние поверхности качения наружного кольца, закрытого роликами и сепаратором, оценивают по состоянию роликов и внутреннего кольца. Если на дорожке качения наружного кольца есть раковины, то на роликах и дорожке качения внутреннего кольца будут резко выраженные вмятины. Эти повреждения можно обнаружить и по ненормальному шуму (стуку) в подшипнике при проворачивании сепаратора с роликами относительно наружного (закрытого) кольца. У сепаратора проверяют, нет ли трещин в местах сопряжения перемычек с основанием, недопустимых износов, ослабевших или оборванных заклепок. Осмотр роликов выполняют путем проворачивания каждого из них.

Для осмотра сферических подшипников внутреннее кольцо с сепаратором и роликами нужно повернуть по отношению к наружному кольцу на $45...90^\circ$. У сепараторов — осмотреть места перехода перемычек в тело с целью выявления трещин. При осмотре обратить внимание на износ, деформации сепаратора. При наличии повреждений ролики могут набегать на внешние (нерабочие) борты внутреннего кольца.

У шариковых подшипников тщательно проверяют, нет ли на кольцах выкрашиваний и трещин. При клепаных сепараторах проверяют, нет ли в них ослабевших или оборванных заклепок. Цвета побежалости осматриваются невооруженным глазом.

Детали с любыми трещинами, выявленными на подшипниках, независимо от размеров трещины, бракуются.

Коррозионные разрушения всегда начинаются с поверхности металла. Коррозия на деталях подшипников бывает двух видов — сплошная и местная. Сплошная коррозия покрывает ровным слоем поверхность деталей, изменяет шероховатость, не образует местных глубоких разъеданий, поэтому является наименее опасным видом коррозионных повреждений. После зачистки такого участка деталь подшипника пригодна к эксплуатации.

Местная коррозия наблюдается в виде пятен, глубина которых может быть различной: от незначительного точечного углубления до язвин. На посадочных и торцевых поверхностях коррозию устраняют мелкозернистым наждачным полотном, смоченным минеральным маслом.

Цвета побежалости образуются на деталях подшипников вследствие их перегрева. Они представляют собой окисную пленку, образующуюся при однократном или многократном нагревании подшипника до температуры, превышающей 200°C . В зависимости от температуры пленка имеет различные оттенки. Цвета побежалости образуются из-за перегрева трущихся деталей при их работе с заеданием, при недостаточной смазке. Наличие цветов побежалости показывает, что подшипник работал при температурах выше температуры отпуска стальных деталей. Подшипник с цветами побежалости бракуется.

Касание змейковых сепараторов о борта колец шарикоподшипников — износ змейковых сепараторов может привести к их динамической неуравновешенности, что вызывает перегрузку и разрушение сепараторов. Зазор между змейковым сепаратором и кольцом ограничивается минимальной величиной, указываемой в технических условиях. Этот зазор проверяют шупом. Если подшипник касается одного из колец — подшипник бракуется.

Риски и задиры на посадочных поверхностях колец — случаи разрушения подшипников вследствие продольных рисков и задигов наблюдаются крайне редко. Обычно на кольцах подшипников допускаются отдельные продольные риски глубиной до 0,5 мм. Подшипники с глубиной риска свыше 0,5 мм бракуются.

Усталостное выкрашивание материала на дорожках и телах качения не допускается.

При массивных сепараторах необходимо проверить наличие зазора между сепаратором и кольцами.

Следы качения на дорожках качения колец, соответствующие окислительному износу, в виде матовых или коричневых полос без выработки допускаются. Подшипники с темно-синими полосами, образующимися в результате перегрузки, бракуются.

Неисправности сепараторов в большинстве случаев являются причиной браковки подшипников. Механические повреждения сепараторов: деформации, забоины у краев перемычек, забоины на боковой поверхности, повреждения или ослабления заклепок — основные критерии выбраковки подшипников.

Оценка качества вращения. После промывки и осмотра подшипники, не имеющие браковочных повреждений, проверяют на легкость вращения. В собранном виде подшипник качения должен иметь ровный, без заеданий и толчков ход. Легкость вращения и шумность подшипников малых и средних размеров проверяется вращением от руки одного из колец при неподвижном другом кольце в горизонтальной плоскости или в вертикальной плоскости с периодическим проворачиванием другого кольца. При этом подшипники должны вращаться плавно, без заеданий и торможения. Тугое вращение подшипника, с заеданием в определенном месте, может быть связано с загрязнением подшипника, с отложением на рабочих поверхностях продуктов распада смазки, с появлением коррозии на рабочих поверхностях.

Проверяют легкость вращения подшипника, удерживая его за внутреннее кольцо и вращая наружное другой рукой. Крупногабаритный подшипник устанавливают на стенд или проворачивают в горизонтальной плоскости при наличии подставки под внутренним кольцом. На легкость вращения, в этом случае, каждый подшипник проверяется дважды с установкой поочередно на оба торца внутреннего кольца. Исправный подшип-

ник должен вращаться легко, без заметных местных притормаживаний и заеданий, с глухим шипящим звуком. Подшипник, издающий резкий металлический звук или вращающийся с торможением (заеданием) наружной обоймы, следует забраковать.

Вращение колец установленных подшипников должно быть ровным, с медленной остановкой без стуков, рывков и заеданий. Рывки указывают на наличие в подшипнике механических или абразивных частиц; резкое торможение — на малый радиальный зазор; стуки — на вмятины и коррозионные раковины на телах и дорожках качения, на большие зазоры в гнездах сепараторов. В нагруженной зоне все тела качения должны вращаться, проскальзывание тел качения относительно беговых дорожек указывает на значительный износ подшипника.

6.4. Подшипники скольжения

Участки поверхности вкладыша подшипника скольжения, соприкасающиеся через масляную пленку с вращающимся валом, должны иметь характерный блеск баббита. В правильно пришабренном вкладыше зона касания вала располагается равномерно, по всей длине нижнего вкладыша, примерно на $1/6$ части окружности. В длительно работавших вкладышах зона касания становится шире.

Отслаивание баббита от корпуса вкладыша обнаруживается визуально по трещинам в местах соединения, путем нажатия или легкого удара деревянной рукояткой молотка по баббиту. Если баббит отслоился, то в местах его отслаивания выдавливается масло по боковой поверхности вкладыша.

Уход и надзор за подшипниками скольжения

При приемке смены обязательной проверке подлежат:

- а) подшипниковые узлы оборудования, в работе которых обнаружены неисправности во время предыдущей смены;
- б) подшипники ответственных машин и механизмов степень нагрева, надежность крепления корпуса и крышки, достаточность поступления смазочного материала.

Подшипники ответственных машин должны быть оборудованы показывающими или сигнализирующими приборами для контроля температуры. Температура опорного (нагруженного) вкладыша подшипника не должна превышать $60...65^{\circ}$, а температура наружной поверхности корпуса — соответственно $50...55^{\circ}$. Не допускается работа механизма при превышении указанного температурного предела (за исключением случаев, когда подшипники подвергаются нагреву лучеиспусканием).

Причины повышенного нагрева подшипников скольжения:

- а) недостаточное поступление смазочного материала к трущимся поверхностям или применение масел несоответствующего качества (загрязнение, малая либо большая вязкость);
- б) перекося вала;
- в) загрязнение или закупорка маслоподводящих и маслораспределительных канавок;
- г) повышенная вибрация вала;
- д) недостаточный зазор между цапфой вала и вкладышами; недостаточные размеры «холодильника»; неудовлетворительная пригонка (пришабровка) вкладышей к цапфе вала; задиры или кольцевые выработки на трущихся поверхностях цапфы или вкладыша; ослабление резьбовых соединений крепления крышек подшипника; неудовлетворительное прилегание вкладыша к корпусу или крышке подшипника, вызывающее перекося вкладыша.

Во всех случаях чрезмерного нагрева подшипников запрещается охлаждать их льдом или поливом водой.

В подшипниках с кольцевой смазкой проверяют характер вращения смазочного кольца и подачу масла. Смазочное кольцо должно вращаться равномерно, без перебоев. Легкий звон кольца указывает на недостаток масла, а замедленное вращение — на избыток или большую вязкость.

В подшипниках, обслуживаемых циркуляционными системами жидкой смазки, систематически в течение смены проверяют по указателям протока достаточно ли поступает масла. Струя масла должна быть непрерывной, толщиной 2,0...3,0 мм.

При осмотре редукторов с циркуляционной смазкой подшипников проверяют показания манометров, указывающих давление масла на выходе; при нулевом показании манометра необходимо прекратить работу машин и выяснить причину отсутствия давления.

Подачу пластичных смазок в подшипники скольжения выполняют не реже одного раза в 4 часа.

Разборку и замену вышедших из строя питателей при подаче смазки автоматической станцией проводят только после переключения станции на ручное управление.

Масла для смазывания подшипников скольжения применяют согласно указаниям паспортов смазки. Систематически проверяют, нет ли утечки масла через подшипники и принимают меры к ликвидации. Пролитые смазочные материалы должны быть убраны, а место пролива очищено.

Своевременно заменяют вышедшие из строя сигнализирующие и контрольно-измерительные приборы, установленные на подшипниках.

Уход и надзор за пластиковыми подшипниками при эксплуатации

При приемке смены необходимо: осмотреть вкладыши и проверить степень износа их седловин и самих вкладышей, вкладыши заменить, если

до поверхности кассеты вследствие износа остается 4...5 мм тела вкладыша; проверить состояние шеек валков; проверить положение подушек и положение вкладышей; проверить брызгальные трубки и при загрязнении их провести очистку; проверить крепление и исправность щитков, защищающих шейки нижних валков от окалины.

Волокна во вкладышах должны быть расположены перпендикулярно действию нагрузки.

В течение смены необходимо: систематически проверять нагрев шеек валков по температуре отходящей воды; температура ее не должна превышать 30...35°C; охлаждающую воду подавать на шейки валков в количестве, обеспечивающем разницу между температурой отходящей и поступающей воды не более 5...10°C; воду на шейки валков подавать непрерывно и равномерно по всей длине шейки через жестко закрепленные брызгальные трубки; подача воды на шейке валков непосредственно из шланга запрещается; вода, подаваемая для охлаждения валков, должна быть чистой и не содержать механических примесей; температура поступающей воды не должна превышать 20...25°C; наряду с охлаждающей водой обеспечить периодическую подачу на шейки валков густой смазки из расчета 25...30 см³ в час на 1 м² поверхности вкладыша; после остановки стана шейки валков необходимо смазывать минеральной смазкой, предварительно выключив воду.

Шейки валков, работающие на пластиковых подшипниках, должны быть отшлифованы с чистотой поверхности не ниже 8-го класса с последующей закалкой их поверхности; установка валков с нешлифованными шейками запрещается. Наплавка вкладышей разрешается, если выкрошенная баббитовая заливка не превышает 10 % (см. табл. 6.7–6.11).

6.5. Зубчатые передачи и редукторы

Требования по монтажу, ремонту и эксплуатации. Все редукторы снабжаются паспортом на соответствие техническим условиям изготовления и паспортом на смазку. В паспорте редуктора указывается характеристика редуктора, условия применяемости. Эксплуатационным персоналом в паспорт редуктора заносятся сведения об условиях эксплуатации, о конструктивных изменениях, капитальных ремонтах и устройствах по технике безопасности, результатах осмотров. В прилагаемом к редуктору паспорте смазки указывается рекомендуемый сорт смазки, количество и периодичность замены. Паспорта отсылаются заказчику вместе с редуктором и используются в течение всего времени эксплуатации. Заполнение и ведение паспорта является обязательным условием, обеспечивающим нормальную работу редуктора.

Монтаж и установка редуктора. Для нормальной работы редуктора необходимо соблюдать следующие условия при монтаже и установке: фундамент должен быть жестким и не давать оседания отдельных частей при работе (при этом перекашиваются оси валов и создаются до-

Таблица 6.7

Допускаемые значения зазоров в подшипниках качения

Диаметр внутреннего кольца подшипника, мм	Дополнительный ряд	Основной ряд	Дополнительные ряды	
	6-й		7-й	8-й
	Зазоры, мкм, текущий ремонт/капитальный ремонт			
10...18	25/21	40/33	54/45	68/57
18...24	27/23	43/36	59/50	74/62
24...30	29/24	47/39	59/50	83/69
30...40	29/24	47/39	70/59	92/77
40...50	29/24	52/44	76/63	101/84
50...65	36/30	59/50	86/72	119/99
65...80	36/30	61/51	99/83	137/114
80...100	41/35	72/60	112/93	160/134
100...120	45/38	83/69	128/107	184/153
120...140	50/42	95/80	155/129	214/179
140...160	50/42	104/87	173/144	243/203
160...180	54/45	117/98	191/159	274/228
180...200	63/53	135/113	218/182	302/252

Таблица 6.8

Допустимые зазоры в подшипниках качения

Внутренний диаметр, мм	Зазор, мм	
	Шариковые	Роликовые
20–30	0,005–0,1	0,01–0,1
35–50	0,01–0,15	0,02–0,15
55–80	0,015–0,2	0,03–0,2
85–120	0,02–0,3	0,04–0,3
125–180	0,025–0,35	0,045–0,35

полнительные усилия на подшипники и валы); при установке редуктора необходимо отрегулировать совмещение осей валов двигателя, редуктора и рабочей машины.

При установке на валы редуктора шкивов, звездочек, муфт, шестерен насаживаемую деталь следует предварительно разогреть перед посадкой до температуры 100...150°С. Не следует допускать непосредственного удара по

Таблица 6.9

Нормали контроля валов, осей и подшипников

Элемент	Предел ремонта	Предел использования	Примечание
Вал и вкладыш подшипника (ответственные машины)	Зазор при сборке: 1/1000 — 2/1000 Ø вала	Ø вала зазор менее 60 мм — 1,0 мм 60...100 мм — 1,5 мм 100...150 мм — 1,5 мм 150...200 мм — 2,0 мм 200...250 мм — 2,0 мм	В случае зубчатого колеса 25...40 мм 0,6 мм 40...60 мм 0,9 мм 60...100 мм 1,0 мм 100...160 мм 1,2 мм 160...250 мм 1,6 мм
Вал и вкладыш подшипника (вспомогательные машины)	Зазор при сборке: 5/1000 — 10/1000 Ø вала	20/1000 — 30/1000 Ø вала	В зависимости от степени важности
Баббитовые вкладыши высоко-скоростных и тяжело нагружен-ных механизмов	Зазор при сборке: 0,7/1000 — 1,5/1000 Ø вала Зазор между упорным подшипником и заплечиком вала — 0,15 мм	Ø вала зазор 30...50 — 0,2 мм 50...80 — 0,32 мм 80...120 — 0,48 мм 120...180 — 0,82 мм 180...240 — 0,94 мм более 250 — меньше 1/250Ø Зазор между упорным металлом и заплечиком вала (собирая их на один конец): 0,28 мм	Для высокой скорости и большой нагрузки зазор меньше. Для низкой скорости и малой нагрузки зазор больше.
Температура подшипника	Низкая скорость 50°C и ниже. Высокая скорость 60°C и ниже, при t° окружающей среды 30°C	70°C и выше	Считается безопасным, если можно удержать руку в течении 10 с и более
Зазоры лабиринтов	Ø вала зазор 50...80 — 0,1...0,2 80...120 — 0,14...0,23 120...180 — 0,16...0,28 180...260 — 0,19...0,32 260...360 — 0,23...0,38 360...500 — 0,27...0,43 500...650 — 0,30...0,50	Отрегулировать, если зазор увеличится в 2 раза больше, чем стандартные значения (слева)	

Таблица 6.10

Допускаемые зазоры мм вал-подшипник (для сравнения)

допускаемые размеры мм для подшипников (для сравнения)					
Диаметр вала, мм	неответственные	механизмы			
		ответственные при <i>n</i> , об./мин.			
		менее 1000		более 1000	
		при удельной нагрузке Н/мм ²			
		до 3,0	свыше 3,0	до 3,0	свыше 3,0
50—80	0,5	0,20	0,10	0,30	0,15
80—120	0,8	0,25	0,15	0,35	0,20
120—180	1,2	0,30	0,20	0,40	0,25
180—260	1,6	0,40	0,25	0,60	0,35
260—300	2,0	0,50	0,30	0,70	0,45

Таблица 6.11

Определение причин повреждений подшипников скольжения по состоянию баббитового слоя

Состояние баббитового слоя	Возможная причина повышенного нагрева	Способ устранения неисправности
1	2	3
Износ баббитового слоя на переднем торце подшипника (рис. 6.4, а)	Длина подшипника не соответствует длине шейки оси. Неровности на торце подшипника, образовавшиеся при заливке баббитом.	Снять шабером неровности на торцах. При износе баббита до втулки заменить подшипник.
Износ баббитового слоя на заднем торце подшипника (рис. 6.4, б)	Длина подшипника не соответствует длине шейки оси. Неудовлетворительная обработка задней галтели.	То же.
Износ баббитового слоя на обоих торцах подшипника (рис. 6.4, в)	Недостаточный разбег подшипника на шейке оси. Заклинивание подшипника и вкладыша из-за неправильной сборки узла.	Увеличить разбег подшипника. Проверить состояние вкладыша, заплечиков и упорного бурта подшипника, при наличии признаков заклинивания заменить.
Износ баббитового слоя на рабочей поверхности подшипника до втулки (рис. 6.4, г)	Результат длительной работы или глубокой расточки.	Заменить подшипник.
Трещины и отколы баббита (рис. 6.4, д)	Нарушение технологии заливки — баббитовый слой неплотно прилегает к втулке.	При наличии отколов или трещин, выходящих на торцы или боковые кромки, заменить подшипник.

Продолжение таблицы 6.11

1	2	3
Выдавливание баббита.	Недостаточная твердость баббитового слоя из-за нарушения технологии заливки. Неравномерная толщина слоя в результате неправильной расточки или перекоса при заливке.	При отсутствии трещин и износов до втулки срубить наплывы и сделать развалку. В противном случае заменить подшипник.
Подшипник прирабатывается к шейке оси отдельными участками (рис. 6.4, ж)	Плохая подгонка подшипника к шейке оси. Неплотное прилегание баббитового слоя к втулке.	Подогнать подшипник к шейке оси. При наличии трещин и отколов баббита заменить подшипник.
Подшипник прирабатывается к шейке оси узкими продольными полосами, имеющими яркий металлический блеск (рис. 6.4, з)	Диаметр подшипника не соответствует диаметру шейки. Отсутствие холодильников. Полусухое трение.	Заменить подшипник.
Подшипник прирабатывается к шейке оси поперечными полосами.	Недостаточная чистота обработки шейки вала.	То же.
Следы полусухого трения на небольшом участке при значительной местной деформации баббита (рис. 6.4, и)	Попадание посторонних предметов под подшипник.	Заменить подшипник.
Следы полусухого трения на одном конце подшипника (рис. 6.4, к)	Неправильная установка подшипника при расточке — большая разница в толщине баббитового слоя.	Заменить подшипник.
Следы полусухого трения на большей части рабочей поверхности (рис. 6.4, л)	Недостаточный подвод масла к шейке оси. Неудовлетворительная обработка рабочей поверхности. Несоответствие диаметров подшипника и шейки вала	Заменить подшипник. Обеспечить поступление смазочного материала в подшипник.
Следы полусухого трения, расположенные по диагонали подшипника.	Перекас подшипника. Неправильная установка подшипника при расточке.	Проверить состояние вкладыша, заплечиков и упорного бурта подшипника. Неисправный вкладыш заменить.

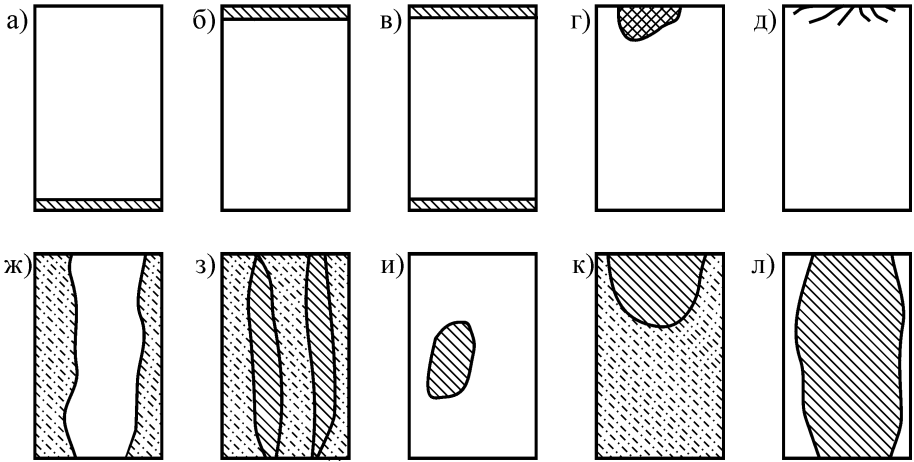


Рис. 6.4. Наиболее характерные примеры состояния слоя баббитовой заливки подшипников

насаживаемой детали молотком или кувалдой, так как это может повредить зацепление или подшипники.

Пуск редуктора. Перед пуском редуктора в эксплуатацию надо, если возможно, проверить зацепление от руки раньше, чем включать двигатель. Если редуктор перегревается, необходимо проверить уровень масла. Уровень масла должен быть в пределах, оговоренных в технической документации. Если уровень масла в пределах допустимого, необходимо проверить правильность монтажа редуктора.

Перегрев подшипников редуктора происходит по следующим причинам: дополнительная нагрузка от оседания фундамента или перекоса муфт; при засорении смазочных каналов; чрезмерно высокая вязкость масла; при больших или малых зазорах в подшипниках.

Корпус и крышка редуктора снаружи должны систематически очищаться от пыли, грязи, масла. Рассеивание тепла от корпуса зависит от теплопередачи через наружную поверхность.

Смазка. Нормальная работа редуктора обеспечивается только при условии применения сорта масла, указанного в паспорте. При удалении из масла посторонних частиц от начального износа зубчатых колес следует после первых двух недель работы остановить редуктор, слить масло и промыть передачи теплым маслом. Масло следует профильтровать и залить в редуктор. Смена масла проводится один раз через 3...6 месяцев эксплуатации редуктора, при планово-предупредительном ремонте агрегата.

Температура застывания применяемой смазки должна быть ниже минимальной температуры окружающей среды. Температура масляной ванны цилиндрических и конически-цилиндрических редукторов при непрерывном режиме работы не должна превышать 60°C. Планово-предупредительный осмотр редуктора следует проводить не реже одного раза в 3...6 месяцев.

При осмотре необходимо обратить внимание на износ зубьев передачи. При этом необходимо замерять величину износа, проверять состояние поверхности зуба. Если при осмотре зубчатых колес и шестерен обнаружены дефекты: трещины у корня зуба; осповидный износ рабочей поверхности зубьев — значительный абразивный износ; большое количество задигов — зубчатые колеса и шестерни подлежат замене.

Во время планово-предупредительных осмотров цилиндрических редукторов с подшипниками скольжения необходимо проводить контроль перекоса осей. При перекосе осей нагрузка концентрируется на одном из концов зуба, что вызывает быстрый износ. Контроль перекоса проводят путем замера зазора между зубьями шестерни и колеса. Разница между зазорами C_1 и C_2 , замеренными с двух противоположных концов зуба, даст величину перекоса (рис. 6.5).

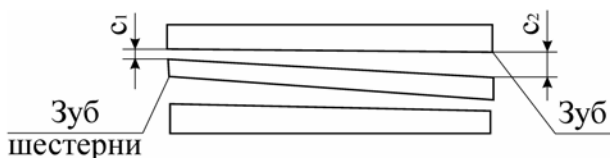


Рис. 6.5. Способ контроля перекоса осей

Наибольшая допустимая разница боковых зазоров зубчатых передач приведена в табл. 6.12.

Таблица 6.12

Наибольшая допустимая разница боковых зазоров, мкм

Ширина колеса, мм		до 55	55...110	110...160	160...220	220...320	320...450	450...630
Степень точности	7	17	19	21	24	28	34	40
	8	21	24	26	30	36	42	50
	9	26	30	34	38	45	52	60

Фундаментные болты затягивают равномерно, поочередно, понемногу подтягивая все болты. При установке редуктора нужно предусмотреть возможность сбора сливаемого из редуктора масла. В редукторах с

централизованной системой смазки перед сборкой необходимо очистить, продуть и промыть маслоотводящую систему. Резьбовые и фланцевые соединения необходимо уплотнить. Редукторы, подшипники которых смазываются при помощи специальных каналов, должны быть установлены по уровню в двух взаимно перпендикулярных направлениях по контрольной площадке крышки редуктора.

Измерение бокового зазора проводят прокатыванием двух свинцовых проволочек между рабочими профилями зубьев (рис. 6.6, 6.7).

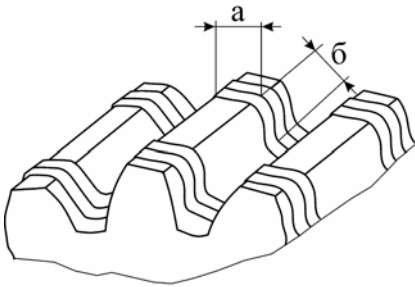


Рис. 6.6. Схема прокатывания пластинки или проволочек

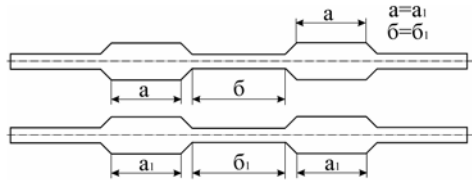


Рис. 6.7. Проверка бокового зазора прокатыванием проволочек или пластинки из свинца

При укладке толщина проволочек или пластинки должна быть примерно равной 2...2,5 величинам бокового зазора. Толщина прокатанных материалов замеряется микрометром.

Необходимо следить за тем, чтобы при открытых люках внутрь редуктора не проникали пыль, грязь и посторонние предметы, поэтому не рекомендуется класть болты, ключи и прочий инструмент на крышку редуктора при ремонтах и осмотрах.

В процессе планово-предупредительного осмотра необходимо проводить проверку перекаса и смещения выходных валов редуктора. Если фактические величины перекаса и смещения их осей велики — необходимо провести регулировку всей установки.

Признаки браковки и нормы износа зубчатых колес: 1) трещины у основания зуба, поломка зуба; 2) повреждение рабочей поверхности зубьев усталостным выкрашиванием более чем на 30 %, при глубине ямок выкрашивания более 10 % толщины зуба; 3) трещины на ступице, ободе или диске; 4) износ слоя цементации свыше 60 % толщины для зубчатых колес с цементированными зубьями; 5) износ зуба по толщине более указанного в табл. 6.13, 6.14.

Повторная установка шестерен при ремонтах допускается в случаях, если износ по профилю зуба не превышает 50 % предельно допустимого.

Таблица 6.13

Предельно допустимый износ зубчатых колес

Режим работы		Предельный износ в % от номинальной толщины зуба на начальной окружности при ремонте	
Передача мощности Окружная скорость м/с		текущем	капитальном
В одном направлении без ударной нагрузки	до 2	20	10
	2...5	15	6
	свыше 5	10	5
Реверсивная при ударной нагрузке	до 2	15	5
	2...5	10	5

Таблица 6.14

Нормы предельно допустимого износа для зубчатых колес редукторов и рабочих машин

Вид и тип зубчатой передачи	Износ зуба в % от толщины
Малые нагрузки и толчки	40
Открытые передачи со стальными и чугунными колесами	30
Средние нагрузки и толчки	25
Зубчатые колеса редукторов и других передач, работающие при окружной скорости до 5 м/с	20
Зубчатые колеса механизма подъема кранов, большие нагрузки и толчки	15
Прямозубые колеса реверсивных передач, работающие при окружной скорости от 5 до 10 м/с, и непрямозубые от 5 до 15 м/с	13
Зубчатые колеса механизмов подъема кранов, транспортирующих жидкий металл	10

Возможна установка шестерен с большим износом, если гарантируется, что износ до следующего капитального ремонта не превысит предельно допустимых размеров. Виды износа зубчатых колес приведены в табл. 6.15.

Уход и надзор за зубчатыми передачами и редукторами при эксплуатации. При приемке смены зубчатые передачи и редукторы осматривают в случаях, когда об этом даны указания в правилах технической эксплуатации отдельных видов оборудования.

При осмотрах необходимо:

- проверить уровень масла в редукторе и убедиться в исправности указателя уровня путем пробного спуска масла через кран или пробку редуктора;
- проверить, нет ли утечки масла; принять меры к устранению; проверить через люк поступление масла через брызгала;

Таблица 6.15

Виды и причины износа зубчатых колес

Вид износа зубчатого колеса	Причина износа
Абразивный износ	Результат попадания между зубьями абразивных включений
Начальный износ	Сглаживание рабочих поверхностей зубьев вследствие пластической деформации и истирания микронеровностей
Пластическая деформация	Износ зубчатых колес, изготовленных из мягких сталей, при высоких нагрузках и повышенном коэффициенте трения
Заедание	Износ тяжело нагруженных быстроходных и среднескоростных зубчатых передач
Отслаивание частиц металла	Характерный вид повреждения зубчатых колес с упрочненным поверхностным слоем
Выкрашивание	Результат неравномерных нагрузок на контактную поверхность зуба

в) проверить в редукторах, снабженных индивидуально-циркуляционными системами смазки, достаточно ли масла поступает к подшипникам и зубчатым сцеплениям, и в случае необходимости отрегулировать подачу его, проверить герметичность соединений маслопроводов, давление и температуру масла на входе, перепад давления до и после фильтра-охладителя;

г) проверить наличие смазочного материала на зубьях открытых передач и реечных зацеплений; в случае необходимости смазать их.

Уход за подшипниками скольжения и качения, болтовыми и шпоночными соединениями редукторов осуществляется в соответствии с указаниями, данными в соответствующих разделах. Температура масла в редукторах с цилиндрическими и коническими передачами при нормальных условиях работы должна быть не выше 60°C, а с червячными передачами — не более 75°C. В редукторах, подвергающихся нагреву теплоизлучением, температура масла может быть выше указанной.

Уровень масла в редукторах при смазке погружением поддерживают так, чтобы:

а) смазывающиеся колеса цилиндрических передач, вращающихся с окружной скоростью выше 3,0 м/с, погружались в масло не более, чем на высоту зуба;

б) конические колеса при окружной скорости в пределах до 5,0 м/с погружались в масло на всю длину зуба;

в) в червячных передачах при окунании червяка последний погружался не более, чем на высоту витка, а при верхнем расположении червяка — не более, чем на высоту зуба червячного колеса.

Масляные ванны редуктора заполняют маслом назначенного сорта и марки, предварительно проведя анализ масла. Запрещается замена

Таблица 6.16

Допустимый износ зубьев колес зубчатых передач по боковому зазору

Механизм	Боковой зазор, мм	
	Осмотр перед текущими ремонтами	Осмотр перед капитальным ремонтом
Редукторы зубчатые		
Ответственные (наклона конвертера, механизмы подъёма)	0,25 <i>m</i>	0,17 <i>m</i>
Вспомогательные	0,35 <i>m</i>	0,25 <i>m</i>
Открытые зубчатые передачи		
Поворота, передвижения	0,65 <i>m</i>	0,45 <i>m</i>
Передвижения установочные в условиях влияния абразивных материалов	0,95 <i>m</i>	0,65 <i>m</i>

Примечание: *m* — модуль зуба в мм.

смазочного материала одного сорта смазочным материалом другого сорта или марки без разрешения лица, ответственного за состояние смазочного хозяйства завода.

Во всех редукторах емкостью свыше 50 литров залитое масло не реже одного раза в 3...6 месяцев подвергают лабораторному анализу. Масло считается отработанным и подлежит замене свежим при обнаружении следующих признаков старения:

- а) повышение кислотности масла до 5 мг КОН (едкого калия) на 1 г масла;
- б) изменение вязкости на 25 % первоначальной величины;
- в) содержание воды в масле свыше 2 %; если водная вытяжка имеет кислую реакцию, то свыше 0,5 %;

г) наличие в масле свыше 0,5 % механических примесей. Присутствие в масле примесей, оказывающих абразивное действие, не допускается. При смене масла внутреннюю поверхность корпуса редуктора и расположенные в нём детали необходимо очистить от грязи и промыть керосином.

При струйной подаче масла к зубчатым зацеплениям (поливанием) нужно обеспечить поступление масла из расчета не менее 3,0...4,0 л в 1 минуту на каждые 100 мм ширины колеса. Большее значение относится к быстроходным (свыше 15 м/сек.) и тяжелонагруженным редукторам. Масло должно выходить из сопла тонкими струями, покрывающими всю длину зуба.

В редукторах, обслуживаемых принудительной циркуляционной смазочной системой, масло заменяют:

- а) при возрастании кислотности до 4 мг КОН на 1 г масла;
- б) при изменении вязкости масла на 15 % от первоначального значения;

в) при наличии кислой реакции водной вытяжки, если содержание в масле связанной влаги (эмульсии) свыше 0,1 %;

г) при наличии в масле свыше 2 % свободной воды или свыше 0,5 % механических примесей. Масло, содержащее более 0,2 % механических примесей или свыше 0,5 % воды, подвергают центрифугированию.

В редукторах, подвергающихся при работе интенсивному нагреву, масло заменяют не реже одного раза в год. Места разъема корпуса редукторов, крышки подшипников и крышки люков для осмотра зацеплений и заливки масла должны быть надежно уплотнены.

Не допускается работа механизма, если в редукторе обнаружен необычный шум, стук или повышение температуры масла выше допустимого предела. При работе редуктора шум, проверяемый слуховой трубкой, должен быть незначительным, ровным, без постукиваний и тресков. Зависимость между характером шума и недостатками передачи указана в табл. 6.17.

Таблица 6.17

Характерные шумы зубчатых передач

Характер шума	Причины, вызывающие ненормальный шум
Шум, напоминающий периодическое щелканье зубьев, в особенности заметный со стороны ведомого колеса.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не качественное изготовление колеса — наличие больших отклонений в окружном шаге. 2. Увеличение бокового зазора между зубьями против нормы.
Резкий металлический скрежет, дребезжащий звук, вызывающий вибрацию корпуса редуктора.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточный боковой зазор между зубьями передачи. 2. Расцентровка колес пары. 3. Наличие острых кромок на головках зубьев. 4. Наличие на рабочем профиле зубьев неравномерной выработки.
Шум, сопровождающийся неравномерным, но непрерывным стуком в зацеплении. Прослушивается во всех местах корпуса. Ощущается вибрация корпуса редуктора.	Недостатки профильной поверхности зубьев (полосчатость).
Циклический, то возрастающий, то снижающийся шум; периодичность изменения звучания совпадает с оборотами колеса.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие эксцентриситета делительной окружности колеса относительно оси. 2. Наличие накопленной ошибки группового окружного шага.
Стук в червячном редукторе.	Чрезмерный осевой разбег червяка или большая выработка зубьев червячного колеса.

Расположение отпечатков на головках зубьев выше начальной окружности указывает на увеличение межцентрового расстояния, а расположение отпечатков ниже делительной окружности на то, что валы слишком сближены.

Если при вращении зубчатой передачи в рабочем и противоположном направлениях оба отпечатка располагаются на рабочем и нерабочем профилях у одного края зуба — это свидетельствует о непараллельности валов.

Если при вращении зубчатой передачи в двух противоположных направлениях отпечатки на рабочем и нерабочем профилях зуба располагаются у противоположных краев зуба, это является признаком перекоса валов.

В конических зубчатых передачах 3-го класса точности длина пятна касания должна быть не менее 50 % длины зуба; при этом на 30 % своей длины пятна касания должны быть по всей высоте зуба.

В зубчатых передачах 4-го класса точности эти показатели должны быть равны соответственно 40 % и 20 %.

В червячных передачах наименьшие размеры пятна касания при проверке на краску или металлический блеск должны быть не менее следующих величин: для передач 3-го класса точности — 60 % (по высоте зубьев), 50 % (по длине зубьев); для передач 4-го класса точности — 50 % (по высоте зубьев), 35 % (по длине зубьев).

При обнаружении неравномерного износа зубьев по длине проверяют правильность положения и прямолинейность валов зубчатой передачи.

Зубчатые колеса. Основными дефектами зубчатых колес являются: выкрашивание металла на рабочей поверхности зубьев; трещины любого характера и расположения; износ зубьев по толщине; износ посадочного отверстия и шпоночных пазов.

Допустимая без ремонта площадь выкрашивания металла на зубьях должна быть не более 20 % от площади рабочей поверхности зуба при глубине не более 5 % толщины зуба. Зубчатые колеса, имеющие выкрашивание металла на трех и менее зубьях, подлежат их восстановлению методом наплавки. Зубчатые колеса не допускаются к сборке при следующих дефектах: точечном выкрашивании металла на рабочей поверхности с общей площадью более 15 %, местном выкрашивании — более 5 % площади зуба, ступенчатой выработке по длине зубьев, микротрещинах у основания зуба.

Зубчатые колеса с трещинами к дальнейшей эксплуатации не допускаются и подлежат браковке. Зубчатые колеса допускаются в эксплуатацию без ремонта при износе зубьев не более 8 % по толщине для механизмов подъема груза и стрелы и не более 12 % для механизмов передвижения и поворота изделия.

6.6. Цепи, канаты, блоки

Стальные проволоочные канаты являются основным типом гибких элементов, применяемых в грузоподъемных механизмах.

Достоинства: 1) высокая прочность; 2) небольшая погонная масса; 3) достаточно высокая гибкость во всех направлениях; 4) упругость; возможность работы при высоких скоростях и др.

Недостаток — ограниченная долговечность.

Конструкция каната представляет собой один или несколько сердечников, вокруг которых навиваются пряди, состоящие из свитых проволок. Сердечники могут быть **органическими** (пенька), **синтетическими** (нейлон, капрон), **стальными**.

Проволоки изготавливают из канатной стали (60К...85К), с пределом прочности $\sigma_a = 1600...2000$ МПа и $\varnothing 0,2...3,0$ мм. Высокая прочность проволок достигается многократным волочением в сочетании с термической обработкой (отжиг) и химическим покрытием. Длина канатов, выпускаемых заводами, 250, 500, 1000 (1500) м.

По конструкции канаты бывают: одинарной свивки (сердечник и проволоки вокруг него); двойной свивки (проволоки в пряди, пряди вокруг сердечника); тройной свивки (проволоки в пряди, пряди в стренги, стренги вокруг сердечника).

Канаты классифицируют: **по типу свивки:** канаты типа **ТК** — канаты с точечным контактом отдельных проволок между слоями прядей при разносторонней свивке; канаты типа **ЛК** — канаты с линейным касанием проволок смежных слоев по всей длине при односторонней свивке; канаты типа **ТЛК** — канаты с точно-линейным контактом, где два слоя проволок свиты в одну сторону, а третий — в противоположную; **по направлению свивки:** правая и левая; **по виду свивки:** крестовая, параллельная и комбинированная; **по количеству прядей:** 1-, 3-, 5-, 6-, 7-, 8-, 18-прядные. Наиболее широко применяют 6-прядные стальные канаты крестовой свивки с числом проволок в пряди $6 \times 19 = 114$, $6 \times 36 = 216$, $6 \times 61 = 366$.

Пример обозначения: ТЛК — РЗ — $6 \times 19 + 1$ о. с — точно-линейный контакт проволок различного диаметра, с органическим заполнением в прядях и органическим сердечником, 6 прядей по 19 проволок, 1 органический сердечник (рис. 6.8).

Степень износа каната по нормам Госгортехнадзора — 5...14 % оборванных проволок на одном шаге свивки. Канаты грузовые подлежат замене при уменьшении диаметра на 7 %. Канаты, не снабженные сертификатом об их испытаниях, не допускаются к использованию.

При работе канаты испытывают совместное действие напряжений растяжения, изгиба, кручения и контактные. В настоящее время нет строгой теории расчета канатов на прочность и долговечность.

Выбор диаметра каната проводится по разрывному усилию:

$$S_{\text{раз}} = S_{\text{max}} \times k_3,$$

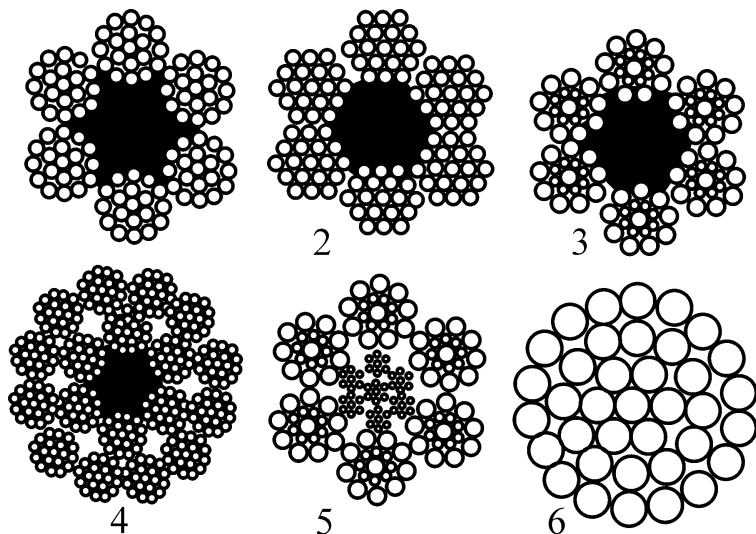


Рис. 6.8. Стальные канаты:

1 — ТК $6 \times 19 + 1$ о. с.; 2 — ЛК $6 \times 19 + 1$ о. с; 3 — ЛКО $6 \times 19 + 1$ о. с;
4 — ТК $18 \times 19 + 1$ о. с; 5 — ЛКО $6 \times 19 + 7 \times 7$; 6 — ТК 1×37

где S_{max} — максимальное расчетное усилие растяжения в канате; k_3 — коэффициент запаса прочности, зависящий от режима работы механизма. Долговечность (срок службы) каната зависит от соотношения диаметров направляющих деталей для каната (блока, барабана) и его диаметра D/d_k . Чем меньше это соотношение и запас прочности каната, тем меньше его долговечность.

Основные причины, снижающие долговечность каната: неправильный выбор конструкции каната; неправильный выбор материала ручья блока; абразивный износ; некачественная смазка; динамические нагрузки; перегибы каната на блоках.

Диаметр направляющих деталей для каната (блока, барабана) определяется по формуле:

$$D = (e - 1)d_k.$$

Для литейных кранов — $k_3 = 9$. Для пассажирских лифтов: $k_3 = 15$ при $v \geq 4$ м/с; $k_3 = 10$ при $v < 4$ м/с (табл. 6.18).

Цепи применяют в грузоподъемных механизмах значительно реже, чем канаты (подъемники, тали, стропы для грузов).

Достоинства цепей: простота конструкции; большая гибкость по сравнению с канатами; малые габариты цепного барабана, звездочки и привода; малое удлинение.

Таблица 6.18

Значения коэффициентов k_3 и e для различных режимов работы механизма подъема кранов общего назначения

Коэффициент	Режим работы					
	Р	ВЛ	Л	С	Т	ВТ
k_3	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
e	16	18	20	25	30	35

Недостатки — большая погонная масса; меньшая надежность; малая упругость; более высокая стоимость, низкая стойкость при динамическом нагружении.

По конструкции цепи делятся на **сварные** (круглозвенные) и **пластинчатые** (рис. 6.9). По назначению — на **грузовые** и **тяговые**.

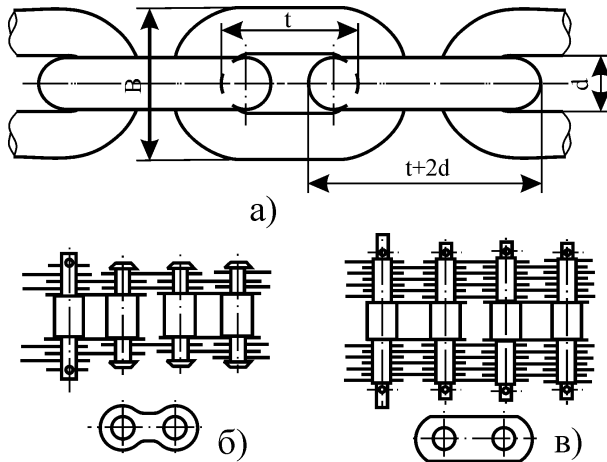


Рис. 6.9. Цепи: а — сварная; б, в — пластинчатые

Сварные цепи изготавливают из стальных прутков диаметром 3...60 мм (марка стали 10, 20, Ст3, $\sigma_s = 370...450$ МПа, с пониженным содержанием серы и фосфора). Способ сварки звеньев цепи — электродуговая, кузнечная. После сварки — термообработка — отжиг для снятия внутренних напряжений. Сварные цепи делятся на: **короткозвенные** (шаг цепи $p = 2,6d$) и **длиннозвенные** (шаг цепи $p = 3,6d$). По точности размеров при изготовлении: **калиброванные** (допуск на шаг $\pm 0,03d$, допуск на ширину звена $\pm 0,05d$); **некалиброванные** (допуск на шаг и ширину равен $\pm 0,1d$).

Расчет цепей не проводится, т. к. нет точной методики определения напряжений в материале звеньев. Выбор проводится по разрывному усилию: $S_p \geq S_{max} \cdot k_3$, где $k_3 = 3$ — при ручном приводе; $k_3 = 6,8$ — при машинном приводе.

Пластинчатые цепи состоят из пластин, соединенных между собой валиками. Число пластин в цепи зависит от грузоподъемности и составляет 2...12. Материал пластин и валиков — сталь 40, 45, 50 ($\sigma_b = 510...600$ МПа), термообработка — нормализация. Пластинчатые цепи делятся на втулочные, роликовые, зубчатые.

Краны. Грузоподъемные машины должны подвергаться частичному освидетельствованию не реже 1 раза в 12 месяцев. Статическое испытание проводят грузом, на 25 % превышающем грузоподъемность. Динамические испытания проводятся с грузом, на 10 % превышающем номинальную грузоподъемность. Тормозной путь механизма подъема проверяется при движении с грузом вниз. Краны мостового типа должны быть снабжены опорными деталями на случай поломки колес и осей. Число несматываемых витков, обеспечивающих уменьшение усилия на крепление каната к барабану, 1,5...2.

Грузоподъемная машина не допускается к работе при наличии трещин в ответственных местах металлоконструкций. Не допускается подъем груза, примерзшего к земле. Работа стрелового крана около линии электропередач допускается без наряда-допуска при расстоянии больше 30 метров. Запрещается работа мостового крана при неисправности концевого выключателя подъема.

Периодичность повторной проверки знаний стропальщиков — 12 месяцев. Количество зажимов на неподвижном конце каната — не менее 3-х. Для сборки чалочных приспособлений допускается слесарь-сборщик, аттестованный для производства данного вида работ.

Крюки могут быть однорогими (для грузоподъемности $Q = 0,4...50$ т) и двурогими (для грузоподъемности $Q = 5...100$ т). **Способ изготовления** — ковка, штамповка, клепанные из листовой стали. **Материал** — вязкая малоуглеродистая сталь 20 (сталь 20Г), термообработка — отжиг для снятия внутренних напряжений.

Тупики с флажками на подкрановых путях устанавливают на расстоянии 3,0 метров от ремонтируемого крана. На работы по осмотру кранов наряд-допуск не оформляется.

Расстояние от верхней точки крана до потолка здания нижнего пояса строительных ферм или предметов, прикрепленных к ним, должно быть не менее 100 мм. Расстояние от торцов крана до колонн и стен здания, перил проходных галерей должно быть не менее 60 мм. Высота перил площадок и галерей, предназначенных для обслуживания грузоподъемных машин, должна быть 1,0 м. Расстояние от нижней габаритной точки грузоподъемной машины до площадок, на которых во время работы могут находиться люди, — не менее 2,0 м. Расстояние между перемещаемым грузом и встречающимися на пути предметами — не менее 0,5 м.

Критерии браковки рельсовых путей. Рельсовый путь опорных грузоподъемных машин не должен содержать: 1) трещины любых размеров; 2) сколы

головки или подошвы рельса; 3) вертикальное, горизонтальное или приведенное (вертикальное плюс половина горизонтального) срабатывания головки рельса более 15 % величины соответствующего размера несработанного профиля; 4) в железобетонных шпалах: сколы бетона до появления арматуры, а также скалывание бетона на участке длиной более 250 мм; сплошные опоясывающие или продольные трещины длиной более 100 мм с раскрытием более 0,3 мм; 5) в деревянных полушпалах: излом, поперечные трещины глубиной более 50 мм и длиной свыше 200 мм, поверхностная гниль размером более 20 мм и более 60 мм на остальных поверхностях (табл. 6.19).

Таблица 6.19

Предельные отклонения рельсовых путей для опорных кранов

Отклонение	Краны				
	мостовые	башенные	козловые	портальные	мостовые перегружатели
Разность отметок головок рельсов в одном поперечном сечении, мм (S — ширина колеи, м)	40	45...60 (для $S = 4,5...6$ м)	40	40	50
Разность отметок рельсов на соседних колоннах	10				
Сужение или расширение рельсового пути (отклонение величины пролета в плане), мм	15	10	15	15	20
Взаимное смещение торцов рельсов, которые стыкуются, в плане и по высоте, мм	2	3	2	2	2
Зазоры в стыках рельсов (при температуре 0°C и длине рельса 12,5 м), мм	5	5	5	5	5
Разность высотных отметок головок рельсов на длине 10 м рельсового пути, мм	—	40	30	20	30

Нормы браковки элементов грузоподъемных кранов и машин.

1. Ходовые колеса кранов и тележек: трещины любых размеров; износ поверхности реборд на величину 50 % и более первоначальной величины; износ поверхности катания, уменьшающий первоначальный диаметр колеса на 2 %; разность диаметров колес, связанных между собой кинематически, более 0,5 % (табл. 6.20).

Нормали контроля ходовых колес

Пункт	Предел ремонта	Предел использования
Износ реборды	Уменьшение до 40 % начального размера	50 %
Износ поверхности катания	Уменьшение до 1 % начального размера	2 %
Разность диаметров колес		0,5 % от начального диаметра

2. Блоки: износ ручья блока более 40 % первоначального радиуса ручья; частичные обломы реборд не более 75 мм на длину.

3. Барабаны: трещины любых размеров; износ ручья барабана по профилю более 2 мм. Допускается уменьшение диаметра на 15 %.

4. Крюки: трещины и надрывы на поверхности; износ зева более 10 % первичной высоты вертикального сечения крюка.

5. Шкивы тормозные: трещины и обломы, которые выходят на рабочие и посадочные поверхности; износ рабочей поверхности обода более 25 % первоначальной толщины.

6. Накладки тормозные: трещины и обломы, подходящие к отверстиям под заклепки; износ тормозной накладки по толщине до появления головок заклепок или более 50 % первоначальной толщины.

7. Канатный строп подлежит браковке, если количество видимых обрывов наружных проволок каната превышает на длине: $3d - 4$; $6d - 6$; $30d - 16$. На бирке стропа указывается грузоподъемность.

8. Цепной строп подлежит браковке при удлинении звена цепи более 3 % от первоначального размера и при уменьшении диаметра сечения звена цепи вследствие износа более 10 %.

Для направления гибких тяговых органов (элементов) применяют **блоки, звездочки и барабаны**.

Блоки предназначены для направления гибких элементов (канатов, цепей) и конструктивно состоят из желобчатого обода, диска и ступицы. **Материал блоков:** литых — чугун СЧ 15–32; высокопрочный чугун ВЧ 40, ВЧ 50; стальное литье 25Л (для больших нагрузок и тяжелых режимов работы); сварные из низкоуглеродистой стали.

Обод блока выполняется в соответствии: $r = (0,6...0,7)d_k$; $h = (2,0...2,5)d_k$; для концевых блоков — $h = (5...6)d_k$; $b = 55 \pm 1^\circ$.

Блоки монтируются на подшипниках качения ($h_{\text{об}} = 0,97...0,98$) и скольжения ($h_{\text{об}} = 0,95...0,96$). Для цепей применяют специальные блоки, имеющие профилированный обод. Рекомендуемая частота вращения блоков $n_{\text{об}} \leq 200$ об./мин.

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

7.1. Допуски и посадки

Система допусков и посадок служит для обеспечения взаимозаменяемости деталей. При сборке двух деталей, входящих одна в другую, различают охватывающую и охватываемую поверхности соединения. Для круглых тел охватывающая поверхность — отверстие, а охватываемая — вал.

Зазор — положительная разность между диаметрами отверстия и вала, характеризующая возможность относительного перемещения соединяемых деталей. **Натяг** — отрицательная разность между диаметрами отверстия и вала до сборки, характеризующая степень сопротивления смещению одной детали относительно другой после их сборки. **Посадка** — характер соединения деталей, определяемый разностью между диаметрами отверстия и вала. **Допуск** — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами. **Поле допуска** — зона между наибольшим и наименьшим предельными размерами; верхняя граница поля допуска соответствует наибольшему, а нижняя — наименьшему предельному размеру.

Посадки подразделяют на: 1) посадки с зазором (ходовая посадка); 2) посадки с натягом (неподвижные посадки); 3) переходные посадки.

Наименьший зазор — разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала. **Наибольший зазор** — разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала. **Наибольший натяг** — разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия. **Наименьший натяг** — разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия.

Посадки с нижним отклонением отверстия, равным нулю, составляют **систему отверстия**. Посадки с верхним отклонением вала, равным нулю, составляют **систему вала**.

Основные требования к посадкам подшипников качения

Расчетный ресурс подшипника качения может быть обеспечен при правильном выборе характера сопряжения колец с валом и корпусом, т. е. при правильном выборе посадок, класса шероховатости и отклонений от геометрической формы посадочных поверхностей. Подшипники качения устанавливаются на валу по системе отверстия, а в корпусе — по системе вала.

Момент трения качения, стремящийся сдвинуть кольцо подшипника относительно посадочного места, обычно меньше момента трения на посадочных поверхностях. Следует обеспечить сохранение точности формы дорожек качения в результате посадки с натягом.

Для выбора посадок большое значение имеет направление действия нагрузки относительно кольца подшипника. Если кольцо подшипника находится в покое относительно направления действия нагрузки, такую нагрузку принято называть местной.

Если кольцо подшипника вращается по отношению к направлению действия нагрузки, то такую нагрузку принято называть циркуляционной. В данном случае кольцо воспринимает нагрузку последовательно всей окружной поверхностью дорожки качения.

Для роликовых подшипников назначают более тугие посадки, чем для шариковых.

Рекомендуемые квалитеты полей допусков валов и корпусов приведены в табл. 7.1 и 7.2 [16]. Для монтажа на вал и в корпус используют систему посадок, изображенную на рис. 7.1 [16].

Практика показала, что чаще применяются: посадки на вал: g6; h6; j6; k6; m6; n6; p6; r6, в случае более высоких требований к точности вращения — h5; j5; k5; m5; посадки в корпус: G7; H8; H7; J7; K7; M7; N7; P7, а при высоких требованиях к точности вращения: J6; K6; M6; N6; P6.

При использовании корпусов из легких сплавов необходимы более плотные посадки, чем в случае стали и чугуна, из-за меньшей твердости и большего коэффициента температурного расширения. В табл. 7.2 предусмотрены посадки в цельный корпус. В отдельных случаях при монтаже подшипника в разъемный корпус следует избегать посадок с натягом в корпус вследствие возможного защемления наружного кольца, что может привести к деформации и нарушению распределения сил в подшипнике.

При циркуляционном нагружении требуется неподвижное соединение кольца с валом или корпусом, при местном — более свободное. Выбор посадок по опыту применения по аналогии с существующими подшипниковыми узлами, работающими в равных или близких условиях, является самым распространенным и проверенным.

7.2. Фундаменты

Установка оборудования на фундаменте включает: укладку опорных элементов; установку оборудования на опорные элементы и совмещение отверстий базовой детали с фундаментными болтами; выверку оборудования в плане, по высоте, горизонтальности; предварительную фиксацию перед подливкой; подливку зазора «механизм — фундамент»; закрепление оборудования затяжкой фундаментных болтов с заданным усилием.

Таблица 7.1

Рекомендуемые посадки подшипников на сплошные стальные валы

Вид нагрузки	Тип подшипника	Диаметр вала	Характер нагружения	Рекомендуемые посадки
Местное нагружение внутреннего кольца	Шариковые радиальные и радиально-упорные	Все диаметры	Подшипник с подвижным внутренним кольцом	L0/g6, L6/g6, L5/g5, L0/j6, L6/j6, L0/h6, L6/h6
Циркуляционная нагрузка на внутреннее кольцо	Шариковые	До 40 мм	Нормальные нагрузки	L0/j6, L6/j6, L5(L4)/j5
		До 100 мм	Легкие нагрузки	L0/j6, L6/j6
		До 200 мм	Нормальные и тяжелые нагрузки	L0/k6, L6/ k6
			Легкие нагрузки	L0/ k6, L6/k6
			Нормальные и тяжелые нагрузки	L0/m6, L6/m6, L5/m5
		Свыше 200 мм	Нормальные нагрузки	L0/m6, L6/m6, L5/m5
			Тяжелые нагрузки, удары	L0/n6, L6/n6, L5/n5
Циркуляционная нагрузка на внутреннее кольцо	Роликовые, игольчатые	До 60 мм	Легкие нагрузки	L0/j6, L6/j6, L5(L4)/j5
			Нормальные и тяжелые нагрузки	L0/k6, L6/k6, L5(L4)/k5
		До 200 мм	Легкие нагрузки	L0/k6, L6/k6, L5(L4)/k5
			Нормальные нагрузки	L0/m6, L6/m6, L5/m5
			Тяжелые нагрузки	L0/n6, L6/n6, L5/n5
		До 500 мм	Нормальные нагрузки	L0/m6, L0/n6, L6/m6, L6/n6
			Тяжелые нагрузки	L0/p6, L6/p6
		Свыше 500 мм	Нормальные нагрузки	L0/n6, L6/n6
			Тяжелые нагрузки	L0/p6

Примечание: поле допуска на диаметр отверстия подшипника обозначается Ldmp, т. е. для классов точности подшипников 0, 6, 5, 4, 2 должны применять обозначения полей допусков диаметра отверстия в посадке L0, L6, L5, L4, L2. Например, посадка подшипника класса точности 6 с диаметром отверстия 30 мм на вал качества h6 обозначается 30L6/h6.

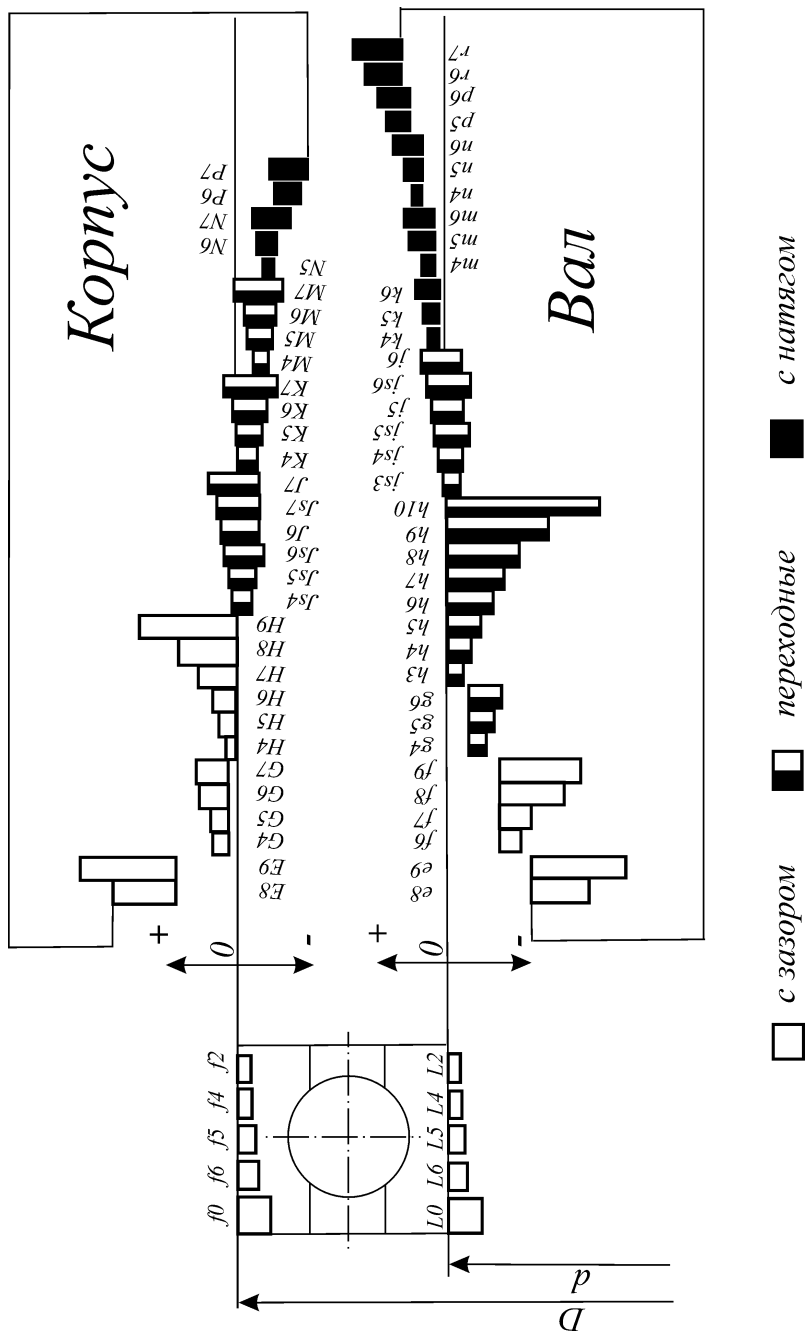


Рис. 7.1. Посадки подшипников качения

Таблица 7.2

Рекомендуемые посадки подшипников в стальные и чугунные корпуса

Вид нагружения наружного кольца	Дополнительная характеристика	Рекомендуемая посадка
Радиальные подшипники.		
Местное (вращается вал)	Подшипник с легко подвижным в осевом направлении наружным кольцом	H7/l6, H7/l6
	Необходима высокая точность (наружное кольцо чаще подвижное)	H6/l5, Js6/l5
	Вал служит проводником тепла	G7/l0
Циркуляционная (вращается корпус) или неопределенная	Легкая нагрузка. Нормальная и ударная нагрузка	K7/l0, K7/l6, M7/l0, M7/l6
	Тяжелая и ударная нагрузка	N7/l0, N7/l6
	Тяжелая и сильная ударная нагрузка, тонкостенные корпуса	P7/l0, P7/l6
Упорные подшипники.		
Осевая нагрузка	Упорно-радиальные сферические роликовые: — нормальная нагрузка, — тяжелая нагрузка	E8/l0, E8/l6 G7/l0, G7/l6

При выверке оборудования в плане регулировочные перемещения осуществляют с помощью грузоподъемных кранов, домкратов и монтажных приспособлений в пределах зазоров между стенками отверстий базовой детали оборудования и фундаментными болтами. По высоте и горизонтальности оборудование регулируют с использованием опорных элементов.

В зависимости от технологии производства работ и конструктивных особенностей соединения «механизм — фундамент» применяют постоянные или временные опорные элементы.

Временные опорные элементы — регулировочные (установочные или отжимные) болты, домкраты (винтовые, клиновые, гидравлические) применяют для регулировки положения оборудования перед закреплением на массиве подливки. **Соединения с постоянными опорными элементами** — пакеты металлических подкладок (плоских или клиновых) используют для выверки и закрепления оборудования. Подливка в этом случае имеет вспомогательное значение. **Установка оборудования непосредственно на фунда-**

мент проводится в случаях, когда допуски на установку оборудования по высоте сопоставимы с показателями точности изготовления фундаментов.

Количество опорных элементов и их расположение по контуру оборудования определяют исходя из условий обеспечения устойчивого положения выверенного оборудования в процессе подливки и исключения недопустимых прогибов опорных частей оборудования под действием собственного веса и усилий предварительной затяжки фундаментных болтов. Площадь опорных элементов:

$$S > 6nF + 0,015m,$$

где n — число фундаментных болтов; m — масса оборудования, кг; F — расчетная площадь поперечного сечения фундаментных болтов, см². Для регулировочных винтов оборудования S — площадь опорной пластины, см².

Суммарная грузоподъемность временных опорных элементов:

$$W > 1,3mg + nF\sigma_0,$$

где σ_0 — расчетное напряжение предварительной затяжки фундаментных болтов ($\sigma_0 = 210...250$ МПа).

Установка на регулировочных винтах. Опорные пластины устанавливают на фундаменте в соответствии с расположением регулировочных винтов в опорной части оборудования. Места расположения опорных пластин на фундаментах выравнивают. Предельные отклонения площадок под опорные пластины от горизонтальности должны быть не более 10 мм/м.

Перед установкой оборудования на фундаменте размещают вспомогательные опоры, в противном случае регулировочные винты в исходном положении должны выступать ниже опорной поверхности оборудования на одинаковую величину, но не более чем на 20 мм.

Положение оборудования по высоте и горизонтальности регулируют всеми винтами, не допуская отклонения от горизонтальности более 10 мм/м. После выверки оборудования положение регулировочных винтов нужно зафиксировать стопорными гайками. Перед подливкой бетонной смеси резьбовую часть регулировочных винтов предохраняют от соприкосновения с бетоном, обертывая плотной бумагой или нанося консистентную смазку.

Перед окончательным закреплением механизма регулировочные винты отворачивают на 2...3 оборота. Многократно используемые винты вывинчивают, а оставшиеся отверстия заделывают пробками или цементным раствором с нанесением маслостойкой краски. Затем закрепляют оборудование затяжкой фундаментных болтов с заданным усилием.

Установка на гайках фундаментных болтов. Этот способ применяют: на установочных гайках с упругим элементом; непосредственно на установочных гайках; на ослабленных (срезных) установочных гайках. В качестве упругих элементов применяют металлические тарельчатые, рези-

новые или пластмассовые шайбы. Оборудование на тарельчатых шайбах и установочных гайках выверяют следующим образом: регулируют установочные гайки с шайбами по высоте так, чтобы верх тарельчатой шайбы был на 2...3 мм выше проектной отметки опорной поверхности оборудования; опускают оборудование на опорные элементы; проводят выверку оборудования с регулировкой положения и выборочной затяжкой крепежных гаек; осуществляют подливку оборудования и закрепление затяжкой крепежных гаек с заданным усилием.

Установочные гайки позволяют регулировать положение механизма. Исходное положение установочных гаек должно быть выдержано с точностью ± 1 мм. Установочные гайки перед подливкой огораживают опалубкой, которую удаляют после схватывания бетона, а гайки свинчивают на 3...4 мм перед окончательной затяжкой фундаментных болтов.

Если оборудование выверяют на ослабленных (срезных) установочных гайках, их изготавливают из менее прочного материала, чем крепежные гайки (могут использоваться гайки с уменьшенной на 50...70 % высотой).

Установка на домкратах (или винтовых подкладках). Для установки оборудования в проектное положение по высоте и горизонтальности используются винтовые, клиновые, гидравлические домкраты, обеспечивающие требуемую точность, удобство и безопасность регулировки. Выверку проводят в следующей последовательности: домкраты, размещенные на подготовленных фундаментах, предварительно регулируют по высоте с точностью ± 1 мм; опускают на домкраты оборудование; огораживают домкраты опалубкой; осуществляют подливку; извлекают домкраты; затягивают фундаментные болты с заданным усилием (оставшиеся ниши заполняют подливочным составом). При регулировании положения оборудования отрыв основания домкрата от поверхности фундамента не допускается.

Установка на пакетах подкладок. Пакеты металлических подкладок применяют в качестве постоянных опорных элементов. Пакеты составляют из стальных установочных и регулировочных подкладок толщиной соответственно 5 мм и более и 0,5...5,0 мм. Общее число подкладок в пакете, как правило, не должно превышать 5 шт.

При использовании подкладок в качестве временных опорных элементов требуемое положение оборудования по высоте и горизонтальности может быть достигнуто: регулировочными перемещениями, при этом исходное высотное положение опор не должно отличаться от проектного более ± 1 мм; без использования регулировочных перемещений (за счет установки опор с заданной точностью по высоте). При использовании пакетов подкладок в качестве постоянных опорных элементов оборудование устанавливают в проектное положение по высоте в такой последовательности: выставляют пакеты подкладок на фундаменте на 1,5...2,0 мм выше проектной отметки опорной поверхности оборудова-

ния (при наличии в пакете клиновой пары исходное положение пакетов должно быть на 4...6 мм ниже проектной отметки); опускают оборудование на опорные элементы; выверяют положение при помощи регулировочных или клиновых подкладок; устанавливают базовые поверхности на 1,0...1,5 мм выше проектной отметки; затягивают фундаментные болты (с заданным усилием и контролируя положение базовых поверхностей); проводят подливку бетона. Для выверки целесообразно использовать пирамидальные пакеты подкладок в комплекте с клиновыми подкладками. Удельное давление на опору от усилий затяжки фундаментных болтов не должно превышать 700 Н/см².

Геодезическое обеспечение монтажа — создание геометрической основы объекта (разбивочные оси и система высотных отметок). Выверку оборудования осуществляют относительно высотных отметок, задаваемых реперами, и осей, задаваемых плашками, а также поверхностями или осями ранее смонтированного оборудования (выверочные базы).

Базы могут быть скрытыми и явными. Скрытой называют базу в виде воображаемой плоскости, оси или точки, а явной — в виде реальной поверхности, разметочной риски, оси или точки. При этом основными считаются монтажные базы, принадлежащие устанавливаемому оборудованию, а вспомогательными — элементам строительных конструкций или ранее установленному оборудованию.

Базы, используемые при установке оборудования, по назначению разделяют на монтажные и контрольные. По монтажным базам осуществляют сопряжение — стыковку узлов и деталей при установке и укрупнительной сборке оборудования. Деталь, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней сборочные единицы или другие детали, называют базовой. При монтаже в качестве базовых используют корпусные детали и станины.

Контрольные базы используют для определения положения монтируемого элемента при измерениях. Контрольные базы подразделяют на выверочные и измерительные. Выверочная база принадлежит монтируемому элементу и служит для установки измерительных средств и контрольных приспособлений. В качестве измерительных используют контрольные базы, не принадлежащие монтируемому элементу — элементы строительных конструкций, базы ранее смонтированного механизма. Монтажные и контрольные базы показаны на рис. 7.2.

Основная монтажная база — основание корпуса редуктора, соприкасающееся с выверочными площадками. Разъем корпуса служит вспомогательной монтажной базой, по которой крышку редуктора присоединяют к основанию корпуса. Для монтажа крышки поверхность разъема будет основной монтажной базой. При установке корпуса редуктора в плане используют выверочные базы — риски, нанесенные по его осям. Поверхность

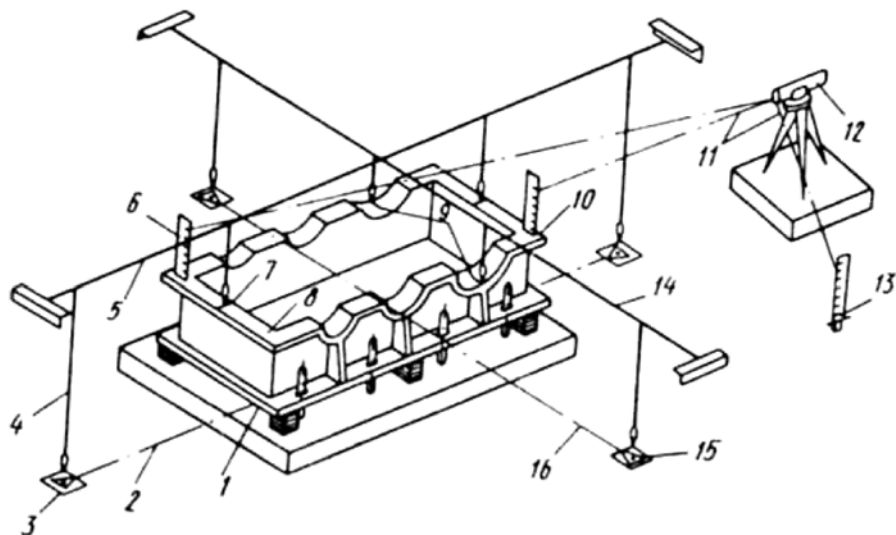


Рис. 7.2. Базы при выверке корпуса редуктора:

1 — опора корпуса редуктора (основная монтажная база); 2 — поперечная ось редуктора (геодезическая основа); 3 — плашка закрепления поперечной оси (основная измерительная база для выверки редуктора в плане); 4 — отвес; 5 — струна для вынесения монтажной поперечной оси редуктора; 6 — малогабаритная нивелирная рейка-линейка; 7 — риска, фиксирующая поперечную ось редуктора; 8 — разъем корпуса редуктора (вспомогательная монтажная база для присоединения крышки); 9 — риски, фиксирующие ось расточек подшипников тихоходного вала редуктора (выверочная база для установки корпуса редуктора в плане); 10 — выверочная база корпуса редуктора для его установки по высоте и горизонтали (плоскость разъема); 11 — визирные оси нивелира (вспомогательные измерительные базы); 12 — нивелир; 13 — репер (основная измерительная база для установки по высоте и горизонтали); 14 — струна для вынесения монтажной продольной оси привода; 15 — плашка закрепления оси привода (основная измерительная база для выверки редуктора в плане); 16 — ось привода (геодезическая основа)

разъема редуктора является выверочной базой для его установки по высоте и горизонтали. Контрольными измерительными базами при выверке редуктора служат рабочие оси геодезической основы, закрепленные на плашках, и высотный репер. Для удобства выверки рабочие геодезические оси выполнены в виде струн и отвесов.

Средства для угловых измерений. В основном при монтаже для этих целей применяются уровни, теодолиты, нивелиры, лазерные нивелиры.

Уровни являются наиболее простым, дешевым и часто применяемым средством измерений. Широко распространены ампульные, пузырьковые, брусковые и рамные уровни трех классов точности.

Специальные средства контроля точности при выверке оборудования. Гидростатические нивелиры применяют для контроля взаимного расположения поверхностей оборудования. По величине разности превышений ими можно оценивать наклоны протяженных плоских поверхностей и отклонения формы.

Подливку оборудования выполняют не позднее 48 часов после проверки точности выверки оборудования. Подливаемые поверхности оборудования и фундаментов очищают от масел и смазки, поверхности фундаментов освобождают от посторонних предметов и увлажняют (при этом удаляют воду в углублениях и приямках). Не разрешается проводить подливку под оборудование при температуре окружающего воздуха ниже 5°С без подогрева укладываемой смеси (электроподогрев, пропаривание и т. п.). Толщина слоя подливки под оборудованием должна составлять 50...60 мм. При ширине опорной части базовой детали оборудования более 2 м толщину слоя подливки следует увеличить до 80...100 мм.

Класс бетона, используемого для подливки, должен быть не ниже класса бетона фундамента, а для установки оборудования с динамическими нагрузками — не менее чем на одну ступень выше. Бетонную смесь или раствор подают через отверстия в опорной части оборудования или с одной стороны до тех пор, пока с противоположной стороны смесь или раствор не достигнет уровня, на 20...30 мм превышающего высоту опорной части подливки. Смесь или раствор необходимо подавать без перерывов. Уровень смеси (раствора) со стороны подачи должен быть выше подливаемой поверхности под оборудованием не менее, чем на 100 мм.

Бетонную смесь (раствор) рекомендуется подавать вибрированием с применением лотка-накопителя, причем вибратор не должен касаться опорных частей оборудования. Поверхность слоя подливки в течение 3 суток после завершения работ систематически увлажняют. При этом для сохранения влаги рекомендуется открытые участки поверхности подливки засыпать древесными опилками или укрывать мешковиной.

При закреплении оборудования фундаментные болты затягивают с заданным усилием (крутящим моментом). При предварительном закреплении оборудования на время подливки затяжку гаек фундаментных болтов следует проводить вблизи опорных элементов с помощью стандартных гаечных ключей без надставок. Усилия предварительного закрепления составляют 50...70 % регламентированных усилий закрепления. При использовании в качестве временных опорных элементов регулировочных винтов оборудования или установочных гаек фундаментных болтов усилие на ключе при предварительной затяжке не должно быть более 100 Н.

Окончательную затяжку необходимо проводить после достижения бетонной смесью не менее 70 % проектной прочности, о чем следует получить соответствующую справку от строительной организации. Эту затяжку выполняют равномерно в 2...3 обхода. Болты затягивают в шахматном порядке симметрично относительно осей опорной части оборудования, начиная с болтов, расположенных на этих осях.

7.3. Обозначения и свойства сталей, бронз, баббитов

Стали — сплав железа с углеродом, в котором содержание углерода менее 2,14 %. Различают: низкоуглеродистые стали — 0,1...0,25 %С; среднеуглеродистые стали — 0,35...0,55 %С; высокоуглеродистые стали — 0,55...0,80 %С.

Условные обозначения легирующих элементов: алюминий — Ю, бор — Р, ванадий — Ф, вольфрам — В, кобальт — К, кремний — С, марганец — Г, медь — Д, молибден — М, никель — Н, ниобий — Б, титан — Т, тантал — Та, фосфор — П, хром — Х, цирконий — Ц. Марка легированной стали составляется из букв, соответствующих легирующим элементам. Если содержание элемента не превышает 1 %, соответствующая буква не сопровождается справа цифрой, если содержание элемента более 1 %, справа ставится цифра содержания элемента в процентах.

В начале марки слева от букв указывается среднее содержание углерода в сотых долях процента — двузначная цифра, либо в десятых долях процента — однозначная цифра. Обозначения марок сталей: ст.40Х, ст.40ХН, ст.35ХСА — легированные марки сталей; 38ХНЗМА — высоколегированная сталь. Подшипниковая сталь — ШХ15.

Углеродистые стали. Конструкционная сталь обыкновенного качества — Ст.0, Ст.1, Ст.2, Ст.3, Ст.4 поставляется по механическим свойствам. С увеличением цифры повышаются предел прочности и предел текучести, износостойкость, снижаются относительное удлинение и ударная вязкость.

Конструкционная углеродистая качественная сталь — 05, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50. Двузначное число — среднее содержание углерода в сотых долях процента. При повышенном содержании марганца справа ставится буква Г — 60Г, 65Г (пружинная сталь).

Качественная углеродистая инструментальная сталь — У7, У8, У10, У12 (У — углеродистая, цифра — среднее содержание углерода в десятых долях процента). При повышенном содержании марганца справа ставится буква Г — У8Г. В марках высококачественной инструментальной углеродистой стали в конце добавляется буква А — У8А.

Углеродистая инструментальная сталь имеет высокое содержание углерода $C = 0,8...1,4 \%$, слаболегирована легирующими элементами: С, Cr, Mn, Si; закалка от 750°C до 800°C; отпуск — 180°C; HRC = 65; скорость резания $v < 10$ м/мин.; максимальная температура резания $t = 200^\circ...300^\circ\text{C}$.

Быстрорежущие стали: сильнолегированные стали с большим содержанием W, Cr, V, Co; закалка — 1350°C; отпуск — 600°C; скорость резания $v < 25\text{--}40$ м/мин.; максимальная температура резания: $t = 700^\circ\text{...}750^\circ\text{C}$. Обозначение: вольфрамовые стали P9; вольфрамо-ванадиевые стали P9Ф5; вольфрамо-молибденовые стали P6М3; вольфрамо-кобальтовые стали P6К5; вольфрамо-кобальтово-ванадиевые стали P18К5Ф2; вольфрамо-молибденово-кобальтовые стали P6М5К5 (Р — вольфрам).

Твёрдые сплавы. 1. Сплавы на основе карбида вольфрама и кобальта в качестве связки, обозначаются ВК. 2. Сплавы на основе карбида вольфрама с добавкой карбида титана и кобальта в качестве связки, обозначаются ТК. 3 Сплавы на основе карбида вольфрама с добавкой карбида титана и тантала, и кобальта в качестве связки, обозначаются ТТК. Скорость резания $v < 200\text{...}250$ м/мин.; максимальная температура резания — $t = 1200^\circ\text{...}1300^\circ\text{C}$. Обозначения — Т5К10, Т15К6, ВК8, ВК6.

Вредные примеси в стали — сера, газы. Полезные примеси в стали — марганец, кремний. Дефекты — флокены, волосовины, неметаллические включения.

Чугуны — сплавы железа и углерода при содержании углерода — 2,14...6,7 %. Чугун КЧ 35-12 — ковкий чугун. Серый — СЧ, высокопрочный — ВЧ.

Свойства металлов

Пластичность — свойство металла менять свою форму и размеры без разрушения под действием внешних сил.

Перед ковкой металл нагревается до 1250°C. Нижний предел температурыковки металла — 700°C. Рубку металла на молоте можно проводить при температуре 800°C. Температура плавления стали — 1535°C.

Твердость закаленной стали с увеличением содержания углерода увеличивается. Склонность к образованию трещин при закалке повышается с увеличением содержания углерода. Прочность металла с понижением температуры возрастает. Ударная вязкость металла с повышением температуры уменьшается.

Литье. Величина литейных уклонов на отливках — 5...7°. Рекомендуемые марки сталей, применяемые для изготовления заготовок методом литья, — 35Л, 40ХЛ. Усадка металла — уменьшение объема и размера при охлаждении.

Сплавы

Сплавы меди — бронзы и латуни. Сплавы меди с оловом, содержащие добавки свинца, фосфора и цинка, — оловянистые бронзы. Сплавы из меди с добавками алюминия, марганца, кремния — специальные бронзы. Обладают высокой прочностью, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью.

Латунь — это сплав меди с цинком, содержащий добавки олова, марганца, никеля, алюминия, железа. Обладает хорошими механическими и технологическими свойствами.

Баббиты — это мягкие антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основе с добавками сурьмы и меди.

В качестве заменителей баббитов используют антифрикционные сплавы на цинковой основе и антифрикционные чугуны.

Сормайт — это твердый сплав для наплавки.

Твердость — способность материала оказывать сопротивление при местных контактных воздействиях пластической деформации. Твердость определяет качество изготовленного инструмента, возможность использования металла для различных деталей механизма, обрабатываемость металла.

Твердость по Бринеллю определяется вдавливанием стального закаленного шарика в поверхность детали при заданном давлении. Твердость по Бринеллю вычисляется по формуле: $HB = P/F$ Н/мм², где HB — твердость по Бринеллю, P — нагрузка на шарик, Н, F — площадь поверхности отпечатка, мм². Обычно твердость по Бринеллю применяют для чугуна и стали твердостью до $HB = 400$.

Твердость по отпечатку конусом — твердость материала, определяемая путем вдавливания в него стального конуса с углом при вершине 90° и вычисляемая как частное от деления нагрузки на боковую поверхность полученного отпечатка.

Твердость по отпечатку пирамиды — твердость материала, определяемая путем вдавливания в него алмазной четырехгранной пирамиды стандартных размеров. Вычисляется как частное от деления нагрузки на поверхность полученного отпечатка.

Твердость по Роквеллу определяется вдавливанием алмазного наконечника конической формы с углом конуса 120° в испытуемый материал. Отсчет твердости проводится по шкале прибора. Примерно равные значения твердости — 401 HB (по Бринеллю), 42 HRC (по Роквеллу).

Твердость по отскоку (по Шору) определяется по высоте отскока бойка весом 2,5 г с алмазным наконечником, свободно падающего с определенной высоты. Метод удобен для определения твердости деталей.

Твердость по царапанию — твердость материала, определяемая путем царапания его поверхности стандартным наконечником в определенных условиях.

Приборы для определения твердости делятся на стационарные и портативные.

Стационарный прибор для измерения твердости по методу Роквелла металлов и сплавов, пластмасс, графита и электрографита TP5014 в соответствии с ИСО 6508-86, ДИН 50 103 и АСТМЕ 18-74 имеет электромеханический привод приложения и снятия основной нагрузки, комплект

принадлежностей для измерения металлов и сплавов по методу Бринелля. Шкала А — мера твердости (83 ± 3) HRA используется при использовании алмазного наконечника под нагрузкой 600Н. Шкала В — мера твердости (90 ± 10) HRB показывает твердость при вдавливании стального шарика ($\varnothing 1,59$ мм) под нагрузкой 1000Н. Шкала С — мера твердости (65 ± 5) HRC показывает твердость при применении алмазного наконечника под нагрузкой 1500Н. Масса — не более 85 кг.

Портативные твердомеры используют метод измерения Либа, предложенный в 1978 году. Метод заключается в определении соотношения скорости отскока ударного элемента к скорости его падения и умножении результата на 1000. Для отдельной группы материалов (например, сталь, алюминий и т. д.) значение твердости Либа непосредственно выражает их свойства твердости и поэтому может быть пересчитано в традиционные единицы твердости: Rockwell В и С, Vickers, Brinell и Shore D. Диапазон измерения твердости HB — 93...674; HRB — 59,6...99,2; HRC — 17,9...68,5; HV — 83...976; HS — 32,2...99,5. Результат измерения — в цифровом виде в выбранных единицах твердости. Габаритные размеры — 160×70×40 мм. Масса прибора — не более 0,4 кг.

Твердость рабочей части режущего инструмента (сверл, зенкеров, разверток, метчиков) должна быть не хуже HRC — 59...65.

Твердость и острота зубьев напильников из инструментальной углеродистой стали марок У10, У12, У13 или из хромистой стали марок ШХ6, ШХ9, ШХ15 должна обеспечивать сцепляемость со стальной пластинкой твердостью не менее HRC 54. Твердость хвостовика напильника HRC 35. Твердость рабочих концов шабера после закалки должна быть HRC — 62...66. Твердость лезвий ножниц HRC — 52...58. Твердость рабочей части зубил HRC — 52...57, твердость ударной части HRC — 32...40.

7.4. Мерительный инструмент

Мерительный инструмент. В зависимости от назначения в процессе производства средства измерения и контроля линейных и угловых величин подразделяются на группы.

1. Калибры гладкие (резьбовые скобы, кольца, пробки, нутромеры, штихмасы, калибры для высот, глубин, отверстий) — для контроля гладких валов и отверстий, высот, глубин, уступов и длин.

2. Калибры резьбовые (резьбовые скобы, кольца и пробки) — для контроля наружной и внутренней резьб.

3. Калибры комплексные и профильные (калибры шлицевые, пазовые и шпоночные, калибры для конусов, углов) — для контроля форм и положения поверхностей деталей, узлов и изделий.

4. Меры и поверочный инструмент (меры длины концевые, меры угловые, щупы, линейки, угольники, образцы чистоты поверхности) — для

проверки прямолинейности, плоскостности, параллельности, угловых величин у изделий и чистоты поверхности изделий.

5. Приборы и инструмент нониусный (штангенциркули, глубиномеры, рейсмусы, микрометры, микрометрические штихмасы и глубиномеры, угломеры, уровни) — для контроля и измерения линейных, диаметральных наружных и внутренних размеров, угловых размеров, элементов резьбы и зубчатых зацеплений.

6. Приборы и инструмент механические (микрометры и скобы рычажно-чувствительные, индикаторы, миниметры) — для контроля и измерений линейных, диаметральных наружных и внутренних размеров, угловых размеров, элементов формы, положения, резьбы и зубчатых зацеплений.

7. Оптико-механические, электронные, лазерные измерительные средства.

Основные метрологические показатели измерительных средств

Цена деления прибора — значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы. **Точность отсчета** — точность, достигаемая при проведении отсчетов на данном приборе. **Пределы измерений** — пределы, внутри которых показания подчиняются установленным нормам. **Измерительное усилие** — усилие, возникающее в процессе измерения при контакте измерительных поверхностей с контролируемым изделием. **Погрешность показаний** — разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины.

Штангенциркули

Электронные штангенциркули. Основные функции и технические характеристики: дискретность цифровой шкалы 0,01 мм; диапазоны измерения от 0...150 до 0...1000 мм; ЖК-дисплей; обнуление в любой точке диапазона измерений; отображение результатов измерения в миллиметрах и дюймах, автономное питание с автоматическим отключением; модели с интерфейсом RS-232C.

Штангенциркули с индикатором часового типа (циферблатные штангенциркули). Основные функции и технические характеристики: индикатор часового типа Ø32мм; диапазоны измерения: от 0...150 до 0...300 мм; цена деления шкалы 0,02мм; ползун с металлическим циферблатом, противоударное исполнение; модели с приводным колесиком и стопорным винтом для фиксации результатов измерения.

Нониусные штангенциркули. Имеются модели в специальном исполнении для измерения внешних и внутренних размеров. Основные функции и технические характеристики: диапазоны измерения: от 0...125 до 0...2000 мм; цена деления шкалы 0,1 и 0,05 мм; модели с блокирующим винтом и устройством точной регулировки.

Микрометры

Электронные микрометры. Основные функции и технические характеристики: дискретность цифровой шкалы 0,001 мм; диапазоны измерения: от 0...30 до 275...300 мм; ЖК-дисплей; отображение результатов измерения в миллиметрах и дюймах; обнуление и фиксация значений в любом месте диапазона показаний; автономное питание от батареи (с автоматическим отключением); модели с интерфейсом RS-232C в специальном исполнении с различными измерительными поверхностями.

Микрометры с аналоговым отсчетом. Имеются модели, оснащенные механическим индикатором с цифровым счетчиком. Основные функции и технические характеристики: цена деления аналоговой шкалы 0,001 мм; диапазоны измерения: от 0...25 до 275...300 мм; модели в специальном исполнении с различными измерительными поверхностями.

Микрометры со скобой — для измерения больших размеров используют различные скобы со сменными измерительными наконечниками. В качестве измерительного инструмента используются электронные и механические микрометрические головки.

Измерение внутренних размеров осуществляется при помощи электронных и механических нутромеров, объединенных в наборы по измеряемым размерам, используется в специальном исполнении.

Индикаторы

Электронные индикаторы сочетают в себе аналоговую и цифровую индикацию. Цифровая индикация гарантирует безошибочное считывание значения измеряемых величин. Основные функции и технические характеристики: дискретность цифровой шкалы от 0,001 до 0,01 мм; диапазоны измерения от 0...12,5 до 0...100 мм; ЖК-дисплей; отображение результатов измерения в миллиметрах и дюймах; обнуление значений в любом месте диапазона показаний; режимы прямого и сравнительного измерения; интерфейс RS-232C; функция предустановки параметров.

Индикаторы часового типа — механические индикаторы часового типа с высокоточным перемещением и плавным вращением указателя, имеют механизмы с двойной защитой от сотрясений для измеряемых интервалов до 100 мм. Преимущество аналоговой индикации в плавно меняющихся показаниях в соответствии с размером образца. Это наиболее приемлемо для измерения осевого и радиального биения.

Основные функции и технические характеристики: цена деления шкалы 0,001 и 0,01 мм; диаметры циферблата 40, 57, 58, 82 мм.

Концевые меры. Эталонные концевые меры могут быть изготовлены из различных материалов.

Стальные эталонные меры доказали свою надежность в течение более, чем ста лет. Этот материал остается наиболее применяемым для изготов-

ления эталонов длины. Стальные эталонные меры обеспечивают высокое сопротивление износу вместе с хорошей способностью сцепления с другими эталонными блоками. Сталь следует защищать от коррозии. Эталонные меры, изготовленные из этого материала, тщательно обработаны, и они останутся надежными в течение многих лет.

Карбид вольфрама. Эталонные меры из карбида вольфрама в 10 раз прочнее стальных мер — они предназначены для частого использования.

Керамические эталонные меры исключительно устойчивы к износу и царапинам. Благодаря свойствам этого материала незначительное повреждение не приведет к ухудшению измерительных поверхностей. Поскольку материал не подвержен коррозии, эти эталонные меры не боятся влажных рук, в отличие от прочих.

Шупы — используются для определения величины зазоров. Точность определения величины зазора — до 0,01 мм (в зависимости от класса точности). Длина шупов — 50, 100, 200 мм.

Уровни — применяют для проверки плоскостности и прямолинейности. **Слесарные уровни** бывают: с неподвижно установленной ампулой; с регулируемой относительно основания ампулой. Длина рабочей поверхности — 200 мм, 300 мм. Цена деления от 0,02...0,05 мм на 1 м до 0,25...0,5 мм на 1 м. Под ценой деления понимается наклон уровня, соответствующий перемещению пузырька ампулы на одно деление шкалы, выраженный в мм на 1 м. Угол наклона 0,01 мм на 1 м соответствует в градусной мере углу в 2".

Рамные уровни применяют для определения положения вертикальных плоскостей. Изготавливают их с размерами сторон 200×200 мм или 300×300 мм. Цена деления от 0,02...0,05 мм на 1 м до 0,25...0,3 мм на 1 м. Изготавливают особо точные уровни с ценой деления 0,02 мм.

Гидростатический уровень применяют для определения разности высот двух точек, удаленных одна от другой на значительное расстояние. Разность высот отсчитывается по градуированным линейкам. Величина ошибки не более 1 мм и не зависит от расстояния нивелируемых точек.

7.5. Сопротивление материалов

Модуль Юнга (модуль упругости первого рода) E , МПа, Н/мм² — постоянная упругости в законе Гука в пределах, когда деформация пропорциональна напряжению.

Модуль Юнга численно равен напряжению, увеличивающему длину образца в два раза: для стали, $E_{ст} = 2,0...2,2 \cdot 10^5$ МПа; для чугуна, $E_{ч} = 1,2 \cdot 10^5$ МПа; для меди, $E_{м} = 1,0 \cdot 10^5$ МПа; для алюминия, $E_{ал} = 0,6 \cdot 10^5$ МПа; для каната, $E_{к} = (1,1...1,7) \cdot 10^5$ МПа: канат с органическим сердечником, $E_o = (1,1...1,3) \cdot 10^5$ МПа; канат с металлическим сердечником, $E_{м} = 1,4 \cdot 10^5$ МПа; канат закрытый, $E_3 = 1,7 \cdot 10^5$ МПа.

Закон Гука: возникающее удлинение образца Δl под действием внешней силы P пропорционально величине действующей силы, первоначальной длине l и обратно пропорционально площади поперечного сечения S : $\Delta l = l \cdot P / E \cdot S$, или $p = E \cdot \epsilon$, где $p = P / S$ — напряжение; $\epsilon = \Delta l / l$ — относительная продольная деформация.

Материалы разделяются на хрупкие и пластичные. Хрупкие вещества разрушаются при очень малых относительных удлинениях. Хрупкие материалы обычно выдерживают, не разрушаясь, большее сжатие, чем растяжение.

Совместно с деформацией растяжения наблюдается уменьшение диаметра образца. Если Δd — изменение диаметра образца, то $\epsilon_1 = \Delta d / d$ принято называть относительной поперечной деформацией. Абсолютная величина $\mu = \epsilon_1 / \epsilon$ носит название коэффициента поперечной деформации — **коэффициента Пуассона**. Коэффициент Пуассона для стали: $\mu_{cm} = 0,3$.

Сдвиг — деформация, при которой все слои тела, параллельные некоторой плоскости, смещаются друг относительно друга.

Закон Гука для деформации сдвига: $p = G \cdot \alpha$, где G — модуль сдвига; α — угол сдвига (относительный сдвиг). Модуль упругости стали при сдвиге: $G_{cm} = 0,8 \cdot 10^5$ МПа.

Соотношение между упругими постоянными: $G = E / 2(1 + \mu)$.

Температурный коэффициент линейного расширения — величина, равная среднему (в интервале температур $[0; t]$ °С) относительному удлинению тела (град⁻¹): $\alpha = (l_1 - l) / t \cdot l_0$. Температурный коэффициент линейного расширения: для стали, $\alpha_{cm} = 11 \dots 12 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹; для меди, $\alpha_m = 16,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹; для алюминия, $\alpha_{al} = 23,0 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Отсутствие тепловых зазоров приводит к возникновению значительных сил, определяемых площадью сечения вала:

$$F_a = E \cdot S \cdot \alpha \cdot \Delta t,$$

где E — модуль Юнга, МПа; S — площадь сечения вала, м²; α — коэффициент линейного расширения, 1/град.; Δt — повышение температуры, °С.

Предел текучести — напряжение, при котором появляется текучесть (увеличение деформации без увеличения деформирующей силы).

Предел текучести: рядовая сталь, $\sigma_m = 200$ МПа; сталь средней прочности, $\sigma_m = 400$ МПа; легированная сталь, $\sigma_m = 800$ МПа.

Предел упругости — напряжение, при котором остаточные деформации впервые достигают некоторой величины, характеризуемой определенным допуском, устанавливаемым техническими условиями.

Предел прочности — напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествовавшей разрушению образца.

Усталость — процесс постепенного возникновения и развития трещины в материале под воздействием многократно повторяющихся силовых воздействий.

Предел выносливости — наибольшее напряжение, которое может выдержать материал при заданном числе циклов нагружения.

Ползучесть — нарастание во времени пластической деформации материала при силовых воздействиях, меньших чем те, которые вызывают остаточную деформацию.

7.6. Основы термообработки

Термообработка металлов и их сплавов — процесс целесообразно выбранных операций нагрева и охлаждения, в результате которого повышаются механические свойства, изменяются физические свойства, а следовательно, увеличивается срок эксплуатации деталей.

Основными видами термообработки являются: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг. При отжиге сталь приобретает ряд свойств: понижение твердости, улучшение обрабатываемости резанием, повышение вязкости металла, снижение внутренних напряжений в заготовках, улучшение структуры металла. Сталь нагревают до определенной температуры, выдерживают при этой температуре, а затем медленно охлаждают до нормальной температуры (обычно вместе с печью или в горячем песке).

Нормализация. Цель нормализации — получение мелкозернистой однородной структуры металла, улучшение обрабатываемости резанием, устранение наклепа после предварительной обработки резанием, подготовка структуры к последующей закалке. При нормализации сталь нагревают до температуры отжига и затем охлаждают на воздухе.

Легированные стали не подвергаются нормализации.

Наклеп — поверхностное упрочнение металла при пластической деформации в холодном состоянии. Наклеп повышает прочность, уменьшает пластичность. Проводится путем обкатки или дробеструйной обработки.

Закалка — повышение прочности и твердости стали. Сталь (с содержанием углерода более чем 0,3 %) нагревают до температуры закали (порядка 900°С), выдерживают при данной температуре, а затем быстро охлаждают в воде, масле, в масляной эмульсии, в водяных растворах солей или в других закалочных жидкостях. Убытие охлаждающей способности закалочных смесей происходит по мере убывания плотности смеси — водные растворы солей и щелочей, вода, масло, сжатый воздух.

Поверхностная закалка применяется для получения высокой твердости поверхностного слоя. Закалку ведут с применением поверхностного нагрева — пламенем горелки, токами высокой частоты. При закалке токами высокой частоты глубина закаленного слоя зависит от частоты тока.

Закаливаемость — способность стали к повышению твердости при закалке. **Прокаливаемость** — способность стали воспринимать закалку на

определенную глубину. Заусенцы, острые кромки, заковы, забоины приводят при закалке к образованию трещин.

Отпуск — заключается в нагреве стали до температуры отпуска и последующем охлаждении в воздухе, в воде или в масле. Отпуском достигается снижение внутренних напряжений, уменьшение хрупкости закаленной стали, повышение вязкости, улучшение обрабатываемости резанием. Различают высокий, средний и низкий отпуск.

Высокий отпуск предполагает нагрев закалённой детали до температуры 300...650°C, сильно уменьшает твердость и внутренние напряжения. Применяется для деталей, работающих на изгиб, кручение, удар и испытывающих знакопеременные нагрузки.

Средний отпуск сопровождается нагревом стали до температуры 300...350°C, уменьшает твердость и сильно уменьшает внутренние напряжения. Применяется для рессор и пружин.

При **низком отпуске** нагрев проводят до температуры 150...180°C. Низкий отпуск не изменяет твердости, но уменьшает внутренние напряжения. Применяется для режущего инструмента, цементованных деталей.

Обработка холодом — проводится при температурах 0...–100°C для превращения остаточного аустенита в мартенсит. При этом повышается твердость закаленных на мартенсит изделий и стабилизируются их размеры. Последнее важно для калибров.

Цвета побежалости — результат появления тонкой пленки окислов металла при нагреве, имеющей различный цвет в зависимости от толщины пленки.

Виды брака, возникающие при термообработке, — трещины внутренние и внешние, обезуглероживание, коробление.

Химико-термическая обработка стали заключается в нагревании стальных изделий вместе с веществами, способными изменить химический состав и механические свойства (износостойкость, твердость) в поверхностном слое изделия.

Основными видами химико-термической обработки являются цементация, азотирование, цианирование и алитирование.

Цементация — насыщение поверхностного слоя углеродом при температуре 870...980°C и последующее медленное охлаждение. Назначение — получение деталей с высокой твердостью и износостойкостью поверхностного слоя и пластичной сердцевиной. Процесс цементации проводится в течение нескольких часов. После цементации проводится термическая обработка — закалка и низкий отпуск.

Цементации могут подвергаться низкоуглеродистые стали с содержанием углерода 0,1...0,25 %С.

Азотирование — насыщение поверхностного слоя азотом — обеспечивает особо высокую твердость и износостойкость поверхностного слоя при

вязкой сердцевины. При азотировании проводят закалку детали в масле с последующим высоким отпуском, после чего детали загружают в печь, через которую при температуре 480...650°C пропускают аммиак. Азотирование продолжается 3...90 часов. Для азотирования применяются хромо-молибдено-алюминиевые стали (38ХМЮА, 35ХЮА).

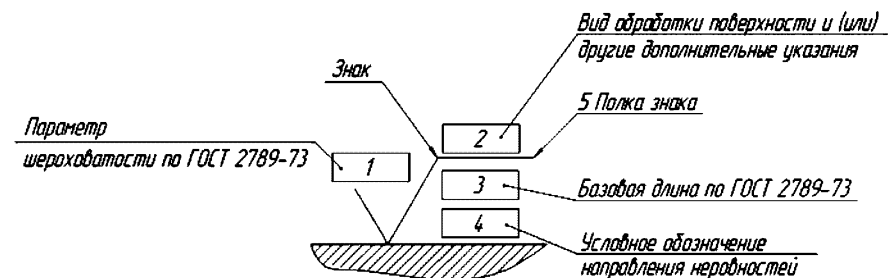
Цианирование заключается в насыщении поверхности малоуглеродистой стали углеродом (и частично азотом) путем погружения деталей в ванну с расплавленной цианистой солью. Твердость поверхностного слоя после цианирования и закалки повышается до HRC 67. Применяют для режущего инструмента.

Алитирование — насыщение поверхности стальных деталей алюминием. При алитировании детали нагревают до 900...1050°C и выдерживают 5...15 часов в смеси алюминия (48 %), окиси алюминия (48 %) и нашатыря (2 %). Насыщенная алюминием поверхность стали имеет высокую жаростойкость.

Борирование — насыщение поверхностных слоев стальных изделий бором для повышения твердости и износостойкости в результате образования очень твердых боридов железа.

7.7. Обработка поверхности

Обозначение шероховатости поверхности (см. табл. 7.3, 7.4):



— знак применяется для поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается;

— знак применяется для поверхности, которая должна быть образована удалением слоя материала, например, точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и т. п.;

— знак применяется для поверхности, образуемой без удаления слоя материала, например, литьём, ковкой, объёмной штамповкой, прокаткой, волочением и т. п.;

Таблица 7.3

**Рекомендуемая шероховатость сопрягаемых поверхностей деталей.
Охватываемые цилиндрические и призматические поверхности**

























Квалитеты				Поверхность					
6; 7	8; 9	11	12	цилиндрическая					плоская
				отверстие		вал			
				Условия работы					
				Трение, износ	Без трения	Трение, износ	Без трения		
				Рекомендуемая шероховатость					
Номинальный размер D и В, мм									
Св.10 до30	—	—	—	125 	2,5 	0,63 	125 	2,5 	
"30"120	До 6	—	—			125 			
"120"180	Св.6 до18	—	—	2,5 	2,5 		2,5 		
Св.180	"18"80	До 3	—			2,5 			
—	"80"360	Св.3 до10	—	Rz20 	Rz20 			Rz20 	
—	Св.360	"10"30	До 6			Rz20 	Rz20 		
—	—	"30"120	Св.6 до15	Rz40 	Rz40 			Rz40 	
—	—	Св.120	"15"80						
—	—	—	"80"260	Rz80 	Rz80 	Rz40 	Rz40 	Rz40 	
—	—	—	Св.260				Rz80 		

Таблица 7.4

**Оптимальная шероховатость поверхностей деталей
при разных способах обработки**

Вид обработки			Шероховатость поверхности
1			2
Ковка			$Rz630$ ▽
Ковка при нагреве поковки газообразным топливом			$Rz1000$ ▽
Литьё в песчаные формы	отливки из стали		$Rz1250$ ▽
	отливки из чугуна		$Rz630$ ▽
	отливки из цветных металлов и их сплавов		$Rz320$ ▽
Литьё по выплавляемым моделям			$Rz80$... $Rz20$ ▽ ... ▽
Холодная штамповка вырубка, пробивка	толщина металла, мм	до 6 вкл.	$Rz160$ ▽
		св.6 до 10 вкл.	$Rz320$ ▽
		св.10	$Rz400$ ▽
Резка механическая	толщина проката, мм	до 20	$Rz320$ ▽
		св.20	$Rz500$ ▽
Резка кислородная	ручная	до 25	$Rz1000$ ▽
		св.25 до 50	$Rz1600$ ▽
		менее 4 и более 50	не регламентируется и на чертежах не указывается
	механизированная	от 5 до 15	$Rz160$ ▽
		св. 15 до 30	$Rz320$ ▽
		св. 30 до 50	$Rz630$ ▽
		менее 5 и более 50	не регламентируется и на чертежах не указывается
Слесарная обработка			$Rz40$... $Rz25$ ▽ ... ▽

Продолжение таблицы 7.4

1		2	
Зачистка наждачным полотном		$\sqrt[25]{\dots} \sqrt[0.63]{\dots}$	
Точение наружное и по торцам	предварительное	$\sqrt[Rz320]{\dots} \sqrt[Rz80]{\dots}$	
	чистовое	$\sqrt[Rz80]{\dots} \sqrt[25]{\dots}$	
	тонкое	$\sqrt[125]{\dots} \sqrt[0.63]{\dots}$	
Строгание	предварительное	$\sqrt[Rz160]{\dots} \sqrt[Rz80]{\dots}$	
	чистовое	$\sqrt[Rz40]{\dots} \sqrt[Rz20]{\dots}$	
	тонкое	$\sqrt[25]{\dots} \sqrt[125]{\dots}$	
Хонингование	чистовое	$\sqrt[0.63]{\dots} \sqrt[0.32]{\dots}$	
	тонкое	$\sqrt[0.16]{\dots} \sqrt[0.04]{\dots}$	
Суперфиниширование	чистовое	$\sqrt[0.32]{\dots} \sqrt[0.16]{\dots}$	
	тонкое	$\sqrt[0.16]{\dots} \sqrt[0.04]{\dots}$	
Притирка	чистовая	$\sqrt[25]{\dots} \sqrt[0.32]{\dots}$	
	тонкая	$\sqrt[125]{\dots} \sqrt[0.09]{\dots}$	
	отделочная	$\sqrt[0.09]{\dots} \sqrt[0.04]{\dots}$	
	зеркальная	$\sqrt[Rz0.1]{\dots} \sqrt[Rz0.05]{\dots}$	
Доводка	механическая чистовая		$\sqrt[0.32]{\dots} \sqrt[0.16]{\dots}$
	ручная	предварительная	$\sqrt[125]{\dots} \sqrt[0.63]{\dots}$
		средняя	$\sqrt[0.63]{\dots} \sqrt[0.32]{\dots}$
		чистовая	$\sqrt[0.16]{\dots} \sqrt[0.09]{\dots}$
		отделочная	$\sqrt[0.04]{\dots} \sqrt[Rz0.1]{\dots}$
		зеркальная	$\sqrt[Rz0.1]{\dots} \sqrt[Rz0.05]{\dots}$
Раскатка поверхности роликовой раскаткой		$\sqrt[0.63]{\dots} \sqrt[0.16]{\dots}$	
Обкатка поверхности роликом и шариком		$\sqrt[0.63]{\dots} \sqrt[0.16]{\dots}$	
Обработка пластических масс	прессование, литьё под давлением		$\sqrt[125]{\dots} \sqrt[0.16]{\dots}$
	точение и фрезерование		$\sqrt[Rz40]{\dots} \sqrt[Rz20]{\dots}$
	сверление		$\sqrt[Rz80]{\dots} \sqrt[Rz20]{\dots}$
	полирование		$\sqrt[25]{\dots} \sqrt[125]{\dots}$

Если шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят один раз. Диаметр вспомогательного знака O — 4...5 мм. В обозначении одинаковой шероховатости поверхностей, плавно переходящих одна в другую, знак O не приводят. Обозначение одинаковой шероховатости поверхности сложной конфигурации допускается приводить в технических требованиях чертежа с ссылкой на буквенное обозначение поверхности.

На линии невидимого контура допускается наносить обозначение шероховатости только в случаях, когда от этой линии нанесён размер.

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят. При указании одинаковой шероховатости для части поверхностей изделия в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и условное обозначение (\checkmark).

Когда часть поверхностей не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа перед обозначением (\checkmark) помещают знак (\checkmark). Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789-73 указывают в обозначении шероховатости: для параметра Ra — без символа; для параметра Rz — с символом (рис. 7.3).

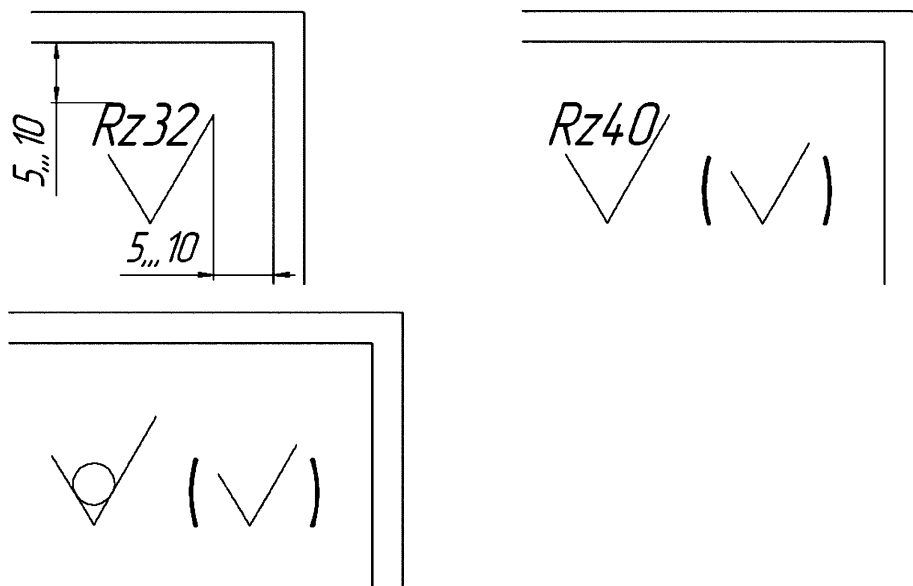


Рис. 7.3. Обозначение шероховатости на чертеже

Примеры указания допусков на чертежах

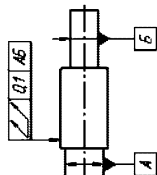
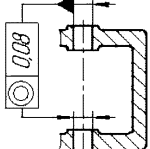
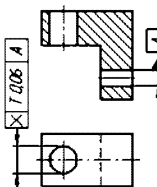
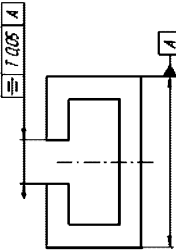
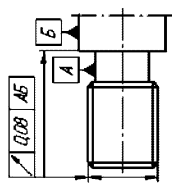
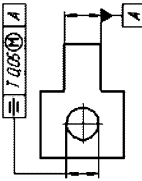
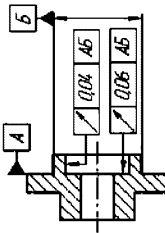
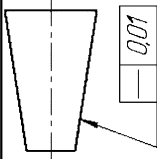
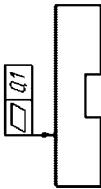
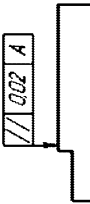
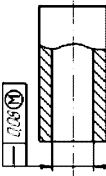
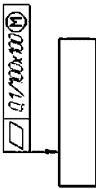
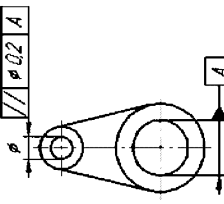
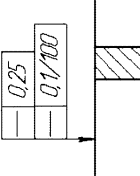
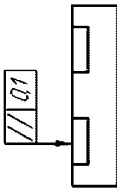
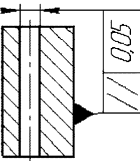
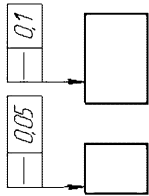
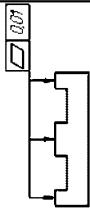
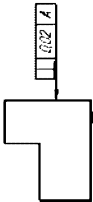
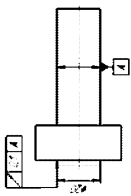
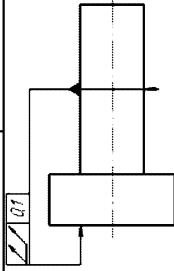
Допуск полного радиального биения		Допуск соосности (концентричности)		Допуск пересечения осей	
Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение
	Допуск полного радиального биения относительно общей оси поверхностей А и Б 0,1 мм.		Допуск соосности отверстия относительно отверстия 0,08 мм.		Допуск пересечения осей отверстий Т 0,06 мм.
Допуск симметричности					
Обозначение	Пояснение	Допуск радиального биения			
	Допуск симметричности паза Т 0,05 мм. База — плоскость симметрии поверхности А.				
	Допуск симметричности отверстия Т 0,05 мм (допуск зависимый). База — плоскость симметрии поверхности А.				

Таблица 7.6

Примеры обозначения допусков на чертежах

Допуск прямолинейности (выпуклость, вогнутость, изогнутость оси)		Допуск плоскостности (выпуклость, вогнутость)		Допуск параллельности	
Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение	Обозначение	Пояснение
	Допуск прямолинейности обра- зующей конуса 0,01 мм.		Допуск плоскост- ности поверхно- сти 0,1 мм.		Допуск парал- лельности по- верхности отно- сительно поверх- ности A 0,02 мм.
	Допуск прямоли- нейности оси от- верстия $\varnothing 0,08$ мм (допуск зависи- мый).		Допуск плоскост- ности 0,1 мм на площади 100x100 мм.		Допуск парал- лельности оси отверстия относи- тельно оси отвер- стия A $\varnothing 0,2$ мм.
	Допуск прямоли- нейности поверх- ности 0,25 мм на всей длине и 0,1 мм на длине 100 мм.		Допуск плоскост- ности поверхно- стей относительно общей прилегаю- щей плоскости 0,1 мм.		Допуск парал- лельности оси отверстия относи- тельно основания 0,05 мм.

Продолжение таблицы 7.6

1	2	3	4	5	6
	<p>Допуск прямолинейности поверхности в поперечном направлении 0,05 мм, в продольном направлении 0,1 мм.</p>		<p>Допуск плоскостности каждой поверхности 0,01 мм.</p>		<p>Допуск перпендикулярности относительно поверхности A 0,02 мм.</p>
	<p>Допуск торцевого биения на диаметре 20 мм относительно оси поверхности A 0,1 мм.</p>				

ЛИТЕРАТУРА

1. Ловчиновский Э. В. Эксплуатационные свойства металлургических машин / Э. В. Ловчиновский, В. С. Вагин. — М. : «Металлургия», 1986. — 160 с.
2. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М. : Госстандарт СССР, 1980.
3. Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (Тоир) механического оборудования предприятий системы Министерства черной металлургии СССР. — М., 1983. — 389 с.
4. Гребеник В. М. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности) : справочник / В. М. Гребеник, В. К. Цапо. — М. : Металлургия, 1989. — 592 с.
5. Организация технического обслуживания металлургического оборудования / В. Я. Седуш, Г. В. Сопилкин, В. З. Вдовин и др. — К. : Техника, 1986. — 124 с.
6. Проников А. С. Надежность машин / А. С. Проников. — М. : Машиностроение, 1978. — 592 с.
7. ГОСТ 27003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. Термины и определения. — М. : Госстандарт СССР, 1991.
8. Техническая диагностика механического оборудования / Сидоров В. А., Кравченко В. М., Седуш В. Я. и др. — Донецк : Новый мир, 2003. — 125 с.
9. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. — М. : Машиностроение, 1984. — 312 с.
10. Голуб Е. С. Диагностирование судовых технических средств : справочник / Е. С. Голуб, Е. З. Мадорский, Г. Ш. Розенберг. — М. : Транспорт, 1993. — 150 с.
11. Седуш В. Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин : учебник / В. Я. Седуш. — 3-е изд., перераб. и доп. — К. : НМК ВО, 1992. — 368 с.
12. Кравченко В. М. Визуальное диагностирование механического оборудования : учебное пособие / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров. — Донецк : ООО «Юго-Восток, Лтд», 2004. — 120 с.
13. Бейзельман Р. Д. Подшипники качения : справочник / Р. Д. Бейзельман, Б. В. Цыпкин. — М. : Машиностроение, 1975. — 362 с.

14. Комиссар А. Г. Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации : справочник / А. Г. Комиссар. — М. : Машиностроение, 1987. — 384 с.
15. Седуш С. В. Расчет и конструирование гидравлических инструментов / С. В. Седуш. — Донецк, 2004. — 152 с.
16. Справочник слесаря-сборщика. Монтаж и демонтаж подшипников / составитель : Лившиц И. С. — ООО «Объединенная Подшипниковая Компания», 2000. — 40 с.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
2. Коллакот Р. А. Диагностирование механического оборудования / Р. А. Коллакот. — Л. : Судостроение, 1980. — 281 с.
3. Ивашков И. И. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин / И. И. Ивашков. — М. : Машиностроение, 1991. — 400 с.
4. Камышев А. Г. Ремонт кранов металлургических заводов / А. Г. Камышев. — М. : Металлургия, 1970. — 296 с.
5. Гимельшейн Л. Я. Искусство быть механиком / Л. Я. Гимельшейн. — М. : Недра, 1990. — 137 с.
6. Прытыкин Д. П. Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования : учебник для вузов / Д. П. Прытыкин. — М. : Металлургия, 1985. — 386 с.
7. Плахтин В. Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин : учебник для вузов / В. Д. Плахтин. — М. : Металлургия, 1983. — 415 с.
8. Перель Л. Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор : справочник / Л. Я. Перель. — М. : Машиностроение, 1983. — 543 с.
9. Общетехнический справочник / под ред. Е. А. Скороходова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1982. — 415 с.
10. Гаевик Д. Т. Справочник смазчика / Д. Т. Гаевик. — М. : Машиностроение, 1990. — 352 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия : в 40 т. Разд. 3 Технология производства машин. Т. 3–7. Измерение, контроль, испытание и диагностика / Клюев В. В., Соснин Ф. Р. и др. — М. : Машиностроение, 1996. — 464 с.
12. Дунаев П. Ф. Детали машин / П. Ф. Дунаев. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — К. : Вища школа, 1990. — 399 с.
13. Прудис Б. В. Ремонт и монтаж оборудования. Альбом : учеб. пособие для учащихся средних специальных учебных заведений по техничес-

ким специальностям / Б. В. Прудис, Ю. М. Огурцов. — М. : Машиностроение, 1990. — 104 с.

14. Справочник по муфтам / В. С. Поляков, И. Д. Барбаш, О. А. Ряховский. — Л. : Машиностроение, 1979. — 334 с.

15. Муфты с неметаллическими упругими элементами / Ю. К. Михайлов, Б. С. Иванов. — К. : Машиностроение, 1987. — 145 с.

16. Детали машин. Справочник / Н. С. Ачеркан. — М. : Машиностроение, 1968. — 230 с.

17. Биргер И. А. Резьбовые соединения / И. А. Биргер, Г. Б. Иоселевич // Детали машин / под ред. Н. С. Ачеркана. — 3-е изд., перераб. — М. : Машиностроение, 1968. — 440 с.

18. Коллакот Р. Диагностика повреждений : пер. с англ. / Р. Коллакот. — М. : Мир, 1989. — 512 с.

19. Справочник SKF по техническому обслуживанию подшипников качения. Публикация 4100 R. Reg. 703000. 1995. — 335 с.

20. Справочник по балансировке / под общей редакцией М. Е. Левита. — М. : Машиностроение, 1992. — 464 с.

21. Ульяницкий В. Н. Техническая диагностика металлургического оборудования / В. Н. Ульяницкий. — Алчевск : ДГМИ, 2004. — 186 с.

22. Кияновский Н. В. Новые разделы в теории и практике надежности машин / Н. В. Кияновский. — Кривой рог : Минерал, 1998. — 209 с.

23. Диагностирование грузоподъемных машин / В. И. Сероштан, Ю. С. Огарь, А. И. Головин и др. ; под ред. В. И. Сероштана, Ю. С. Огаря. — М. : Машиностроение, 1992. — 192 с.

Наукове видання

Бобровицький Віктор Іванович
Сидоров Володимир Анатолійович

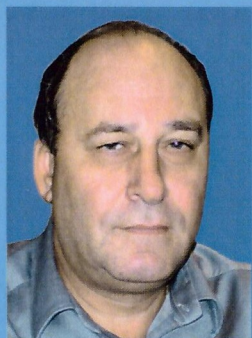
МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ: ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ

Російською мовою

Технічний редактор *Ю. М. Федюшкіна*

Підписано до друку 19.09.2011 р.
Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Гарнітура «Newton». Друк — різнографія.
Ум.-друк. арк. 13,83. Обл.-вид. арк. 13,14.
Наклад 300 прим. Зам. № 067.

Видавництво та друк ТОВ «Юго-Восток, Лтд».
83055, Донецьк, вул. Р. Люксембург, 26, оф. 211.
Тел./факс: (062) 305-50-13; www.yugo-vostok.com.ua
e-mail: zakaz@yugo-vostok.com.ua; dakindeev@yandex.ru
Свідомство про держреєстрацію:
серія ДК №1224 від 10.02.2003 р.



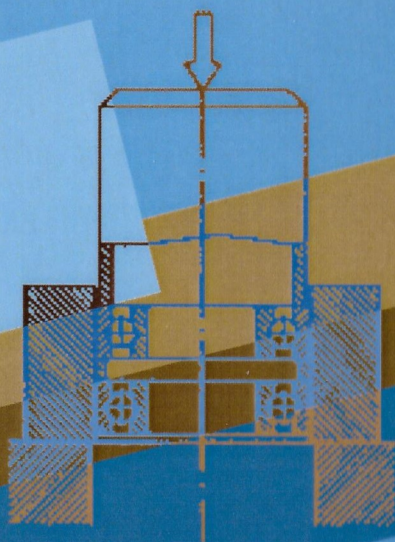
БОБРОВИЦКИЙ Виктор Иванович

Главный механик ЗАО «Донецксталь» — металлургический завод», филиал «металлургический комплекс» (Донецк, Украина).



СИДОРОВ Владимир Анатольевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» Донецкого национального технического университета (Донецк, Украина).



ISBN 978-966-374-636-4