



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное
пособие

УМО

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

Технологические машины и оборудование



Министерство образования и науки Российской Федерации

Сибирский федеральный университет

ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки дипломированных специалистов «Технологические машины и оборудование» 25.03.2010 г.

Под общей редакцией
доктора технических наук, профессора А. В. Гилева

Красноярск
СФУ
2011

УДК 622.6(07)
ББК 33.16 я73
О-75

А в т о р ы: А. В. Гилёв, В. Т. Чесноков, Н. Б. Лаврова,
Л. В. Хомич, Н. Н. Гилёва, Л. П. Коростовенко

Р е ц е н з е н т ы: А. И. Косолапов, д-р техн. наук, проф. Сибирского федерального университета; А. Н. Анушенков, д-р техн. наук, проф. ведущий научный сотрудник Института горного дела СО РАН.

О-75 Основы эксплуатации горных машин и оборудования : учеб. пособие / А. В. Гилёв, В. Т. Чесноков, Н. Б. Лаврова и др.; под общ. ред. А. В. Гилёва. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. – 276 с.
ISBN 978-5-7638-2194-9

В учебном пособии рассмотрены основные положения надежности горной техники и её эксплуатации. Приведены сведения о смазочных материалах и системах смазки, даны основные понятия о разрушении, изнашивании деталей и узлов машин, методах и средствах их диагностики. Представлены системы и методы технического обслуживания и ремонта горной техники, приведены основные принципы управления механической службой горного предприятия.

Предназначено для студентов направления подготовки 150400 «Технологические машины и оборудование» (специальность 150402.65 «Горные машины и оборудование»), а также для горных инженеров, занимающихся эксплуатацией горной техники.

УДК 622.6(07)
ББК 33.16 я73

ISBN 978-5-7638-2194-9

© Сибирский федеральный университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации технологического оборудования надежность, заложенная в нем при конструировании и изготовлении, снижается вследствие возникновения различных неисправностей. Эти неисправности могут возникнуть в результате несвоевременного и некачественного технического обслуживания и ремонта машины, её перегрузки, а также изнашивания узлов и деталей. Неисправность проявляется в нарушениях посадки, т.е. нарушении заданных зазоров в подвижных и натягов в неподвижных соединениях. В свою очередь всякое нарушение посадок обусловлено изменениями в размерах и форме деталей. Отсюда можно сделать вывод, что любая рассматриваемая неисправность в машине является следствием изменений, происшедших в рабочих характеристиках деталей: конструктивных размеров, качества их поверхностей, химического состава, структуры, механических свойств материалов и др.

При обнаружении неисправностей детали подвергаются ремонту или заменяются новыми, что существенно повышает затраты, связанные с эксплуатацией оборудования.

Эффективное снижение стоимости ремонта механического оборудования и повышение его долговечности могут быть достигнуты восстановлением изношенных деталей. Опыт передовых предприятий показывает, что восстановление изношенных деталей машин при использовании прогрессивной технологии позволяет значительно сократить простой оборудования, увеличить межремонтный срок службы, уменьшить расход запасных деталей и соответственно материала на их изготовление.

Современная ремонтная служба на производственных предприятиях располагает многими способами восстановления деталей, обеспечивающими их высокую долговечность. Сложные и дорогостоящие детали подвергаются неоднократному восстановлению, что позволяет во много раз повысить их срок службы. Для этого требуется высокая организация технического обслуживания и ремонта машин, а также современные технологии ремонтного производства.

Поэтому необходимо создавать современные ремонтно-механические базы на предприятиях, в первую очередь – централизованное восстановление деталей машин и оборудования. В учебном пособии даны основы надежности механического оборудования, представлены сведения о монтаже и сборке машин, рассмотрены смазочные материалы (масла, пластичные и твердые смазки) и системы смазки, изложены основные методы технической диагностики деталей, даны сведения о методах их восстановления, представлены основные понятия о видах неуравновешенности и способах балансировки вращающихся деталей, рассмотрены системы и методы ор-

ганизации, технического обслуживания и ремонта, изложены основные положения работы ремонтно-механической базы горных предприятий.

В учебные планы вузов для подготовки горных инженеров в 1937 г. был введен курс «Ремонт и монтаж горного оборудования». Развитие технологии ремонта машин и оборудования основано на фундаментальных трудах отечественных ученых, таких как Н. Н. Бернарδος и Н. Г. Славянов – авторов русского изобретения – электродуговой сварки; академика В. П. Никитина, сконструировавшего сварочные агрегаты; академика Е. О. Патона, разработавшего автоматическую электродуговую сварку под слоем флюса; академика Б. С. Якоби, предложившего процесс электролитического осаждения металлов; профессора В. П. Вологодина – автора поверхностного нагрева деталей токами высокой частоты, профессора М. С. Поляка – автора многих изобретений в области технологии упрочнения и др.

Следует отметить, что до 1935 г. в нашей стране плановый ремонт горной техники не осуществлялся. В 1934 г. в г. Москва состоялась Первая всесоюзная конференция главных механиков шахт, рудников и заводов. На ней был рассмотрен вопрос о проблемах в области обслуживания и ремонта машин. Конференция постановила внедрить систему планово-предупредительных работ (ППР), включающую плановые технические осмотры и ремонты: текущие, средние и капитальные.

Система ППР сыграла огромную роль в укреплении технической дисциплины по обслуживанию и ремонту машин и оборудования.

К 1941 г. эта система была внедрена на большинстве горных и ремонтно-механических заводах. С некоторыми изменениями в планировании и с внедрением технической диагностики система ППР и в настоящее время является одним из основных организационно-технологических процессов, обеспечивающих значительное увеличение ресурса работы горных машин и оборудования.

Большую роль в разработке научно-методических основ эксплуатации горной техники сыграли труды Российских ученых, таких как В. И. Русихин, П. М. Шилов, Л. И. Кантович, Р. Ю. Подэрни, Г. И. Солод, В. И. Соллод, В. И. Морозов, Д. Е. Махно, В. С. Квагинидзе, В. Ф. Петров, В. Б. Колецкий, П. И. Кох, Е. Е. Шешко и др.

1. НАДЕЖНОСТЬ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

1.1. Основы теории надежности

1.1.1. Основные понятия и определения надежности

Надежность – молодая наука, возникшая в 50-е годы XX века в отрасли электроники и распространившаяся в 60-е годы на все отрасли техники. Наука о надежности изучает закономерности изменения показателей качества технических достижений и на основании результатов изучения их эксплуатации разрабатывает методы, обеспечивающие с наименьшими затратами времени и средств наибольшие продолжительность и безотказность этих достижений.

Эта наука рассматривает общие вопросы изменения качества – естественного и физического без учета морального старения. В машиностроении показатели надежности оценивают физику отказов машин и узлов. Главным критерием надежности является экономическая долговечность машин.

Действующий в настоящее время ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» устанавливает основные понятия, термины и определения в области надежности. Он распространяется на технические объекты, в том числе на горные машины и оборудование [1].

Надежность – 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 транспортировки.

Надежность является сложным свойством и характеризуется такими показателями, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени работы.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Долговечность – это показатель экономической эффективности работы машины, которая должна прослужить так долго, чтобы было экономически целесообразным для ее приобретения.

Ремонтпригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения

отказов, повреждений, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования.

1.1.2. Классификация состояний объекта

Горные машины как объект характеризуются следующими основными состояниями: исправное, работоспособное, неработоспособное, предельное, которые между собой взаимосвязаны (рис. 1.1).

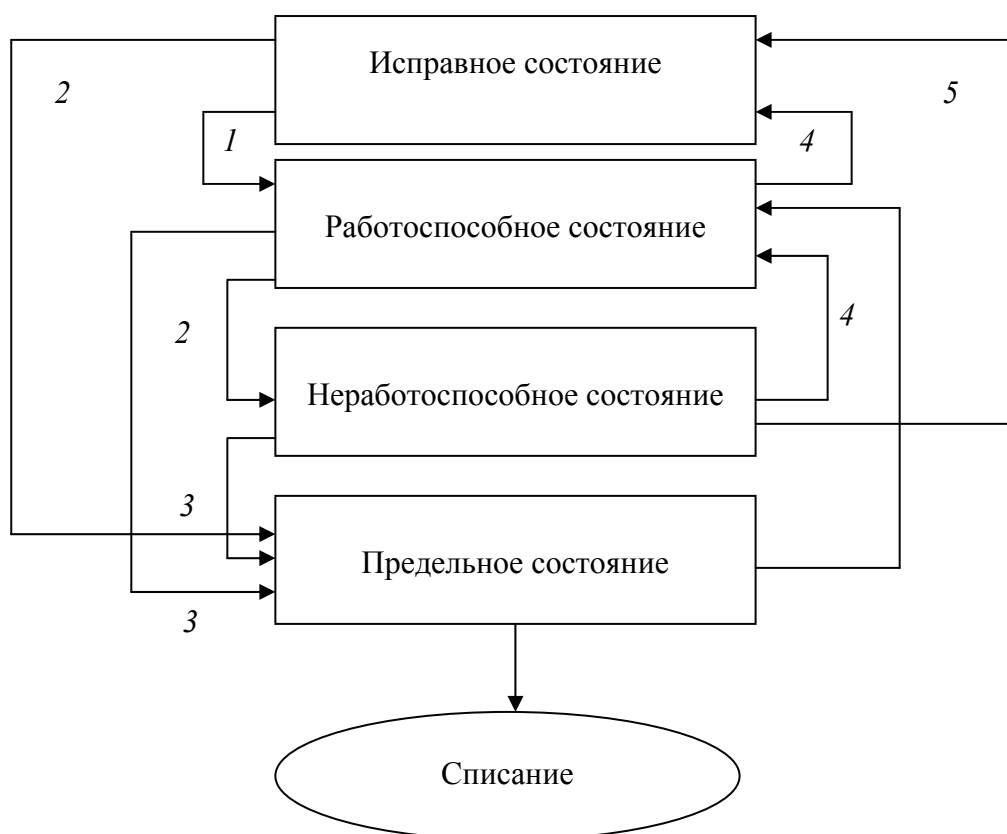


Рис. 1.1. Классификация состояния объектов: 1 – повреждение; 2 – отказ; 3 – переход в предельное состояние; 4 – восстановление; 5 – ремонт

Исправное состояние – это состояние оборудования, при котором оно соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Работоспособное состояние – состояние оборудования, при котором значения всех параметров, характеризующих способ-

ность выполнять заданные функции, соответствует нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние – это состояние оборудования, при котором оно не способно выполнять в данный момент заданные функции.

Предельное состояние – это состояние оборудования, находящегося на грани аварийного.

Повреждение – это событие, заключающееся в нарушении неправильного состояния объекта при сохранении работоспособности.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния.

Существуют также количественные показатели, характеризующие состояние объекта: наработку до отказа, технический ресурс, срок службы.

Наработка до отказа – это наработка объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа.

Технический ресурс – это наработка объекта от начала (либо возобновления после ремонта) его эксплуатации до возникновения предельного состояния, выраженная в часах, километрах пробега или единицах вырабатываемой продукции.

Срок службы – это календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта (либо возобновления после ремонта) до возникновения предельного состояния.

1.2. Показатели надежности

Показатели надежности – это количественные характеристики одного или нескольких объектов, определяющих их надежность [2].

Различают единичные и комплексные показатели надежности. Показатели, относящиеся к одному из свойств, определяющих надежность объекта, называются единичными; показатели, относящиеся к нескольким свойствам, называются комплексными.

1.2.1. Единичные показатели надежности

К единичным показателям относятся: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

К показателям безотказности относятся: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов и параметр потока отказов.

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникает.

Для невосстанавливаемых объектов

$$P_t = \frac{N_t}{N_0}, \quad (1.1)$$

где N_t – число объектов, безотказно проработавших до момента времени t ; N_0 – число объектов, эксплуатируемых в начальный момент времени t .

Для восстанавливаемых объектов

$$P_t = \frac{N_{\sigma_0}}{r}, \quad (1.2)$$

где N_{σ_0} – число наработок, в течение которых объект работал безотказно после восстановления до момента времени t ; r – общее число наработок.

Вероятность отказа – это вероятность того, что в пределах заданной наработки t возникает отказ, и объект с начала эксплуатации проработает время $t_1 < t$:

$$Q_t = 1 - P_{(t)}. \quad (1.3)$$

Средняя наработка до отказа T – это математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. Определяется она как среднее арифметическое наработок всех объектов N , поставленных на испытания или сданных в эксплуатацию:

$$T_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad (1.4)$$

где t – наработка i -го объекта до отказа.

Средняя наработка до отказа восстанавливаемого объекта – есть отношение наработки к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Определяется она как среднее значение наработок объекта между отказами:

$$T_0 = \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{r}, \quad (1.5)$$

где t – i -я наработка между отказами; r – число отказов в течение наблюдаемой наработки.

Интенсивность отказов – это условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта для рассматриваемого периода времени t :

$$\lambda_{(t)} = \frac{N_{(t)} - N_{(t+\Delta t)}}{N_{(t)} \cdot \Delta t}, \quad (1.6)$$

где $N_{(t)}$ и $N_{(t+\Delta t)}$ – числа объектов, работоспособных соответственно к моментам времени t и $(t+\Delta t)$.

Параметр потока отказов – есть отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за производительную наработку к значению этой наработки:

$$\omega_{(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_{i(t+\Delta t)} - \sum_{i=1}^N m_{i(t)}}{N \cdot \Delta t}, \quad (1.7)$$

где $m_{i(t)}$ – число отказов до наработки t i -го объекта; N – число испытываемых объектов.

Гамма – процентный ресурс – наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов. Это время работы объектов t_γ , в течение которого вероятность $P(t_\gamma)$ безотказной работы бывает не меньше величины $\gamma/100$, т. е.

$$P(t_\gamma) \geq \gamma/100, \quad (1.8)$$

где γ обычно для технологического оборудования принимают в пределах 80–98 %.

Например, для объектов группы оборудования, в которую входят грузоподъемные машины, насосы $\gamma = 95$ %.

К показателям ремонтпригодности относятся:

а) вероятность восстановления в заданное время – вероятность того, что время восстановления работоспособности машины не превысит заданного;

б) время восстановления – время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранение неисправности.

1.2.2. Комплексные показатели надежности

К комплексным показателям надежности машин относятся следующие:

1. Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов простоя.

Для одного объекта

$$K = T / (T + T_{\text{в}}), \quad (1.9)$$

где T – наработка до отказа, ч; $T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления,

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{n}, \quad (1.10)$$

где T_i – время i -го восстановления; n – количество восстановлений i -го объекта.

2. Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания интервалов времени пребывания машины в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев на техническое обслуживание и ремонт.

Для одного объекта

$$K_{\text{ти}} = \frac{t_{\text{с}}}{t_{\text{с}} + t_{\text{то}} + t_{\text{р}}}, \quad (1.11)$$

где $t_{\text{с}}$ – суммарная наработка до отказа за рассматриваемый период; $t_{\text{то}}$ – суммарное время простоев из-за технического обслуживания; $t_{\text{р}}$ – суммарное время простоев из-за ремонтов за рассматриваемый период.

3. Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов технического обслуживания и ремонта. Он вычисляется по формуле

$$K_{\text{ог}} = K_{\text{г}} \cdot P_{(t)}, \quad (1.12)$$

где $K_{\text{г}}$ – коэффициент готовности; $P_{(t)}$ – вероятность безотказной работы.

1.3. Теория вероятности в расчетах надежности машин

1.3.1. Элементы теории вероятности

Возникновение отказов механического оборудования связано с совместным воздействием большого числа факторов: нагрузок, температур, влажности и запыленности окружающей среды, несоблюдением правил технической эксплуатации, недостаточном качестве технического обслуживания и ремонта и др. В связи с этим отказы носят случайный характер и их называют событиями.

Происходящие с оборудованием события разделяют на три вида: достоверные, невозможные и случайные.

Достоверным называют событие, которое обязательно произойдет при осуществлении определенных условий. Например, если окись алюминия Al_2O_3 поместить в газопламенную установку и нагревать с целью покрытия его на деталь, то температура окиси алюминия обязательно повысится.

Невозможным называют событие, которое не произойдет при осуществлении определенных условий. Например, если в газопламенной установке применить газ – пропан, то расплава а, следовательно, напыления Al_2O_3 не произойдет, так как температура плавления Al_2O_3 равна $2\ 100\ ^\circ C$, а газопламенная установка при работе на пропане может развить температуру до $1\ 600\ ^\circ C$. В этом случае упрочнение детали не произойдет.

Случайными называют событие, которое при осуществлении определенных условий может произойти, а может не произойти.

Например, даже при достижении температуры $2\ 100\ ^\circ C$ окись алюминия Al_2O_3 может быть наплавлена на поверхность, а может и нет, т. к. наплаваемая поверхность требует предварительной обработки: придания определенной шероховатости, подогрева, обезжиривания и т. д.

Случайная величина – это величина, которая в результате испытания может принять одно из возможных заранее неизвестных значений.

Случайные величины могут быть непрерывными и дискретными.

Случайная непрерывная величина может принимать все значения из некоторого промежутка.

Случайная дискретная величина принимает отдельные значения в некотором промежутке.

1.3.2. Закон распределения случайной величины

Для полной характеристики случайной величины задают не только все возможные ее значения, но и закон распределения.

Законом распределения называют зависимость, устанавливаемую между возможными значениями случайной величины и их вероятностями. Закон распределения случайной дискретной величины можно задать таблично, графически или аналитически [3].

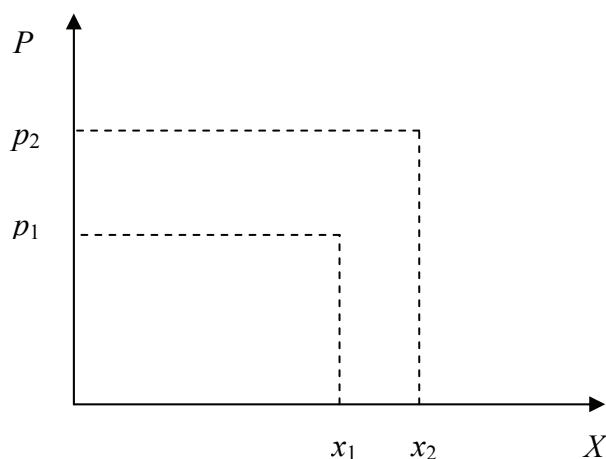
Таблично она выражается так:

X	x_1	x_2	x_3	...	x_n
P	p_1	p_2	p_3	...	p_n

x_n – значения случайной величины;

p_n – значения вероятности случайной величины;

графически – так:



аналитически – так: $p = f(x)$.

Закон распределения случайной непрерывной величины задают функцией распределения $F(x)$, определяющей вероятность того, что случайная величина X в результате работы машины примет значение, меньшее x , т. е.

$$F(x) = p(X < x), \quad (1.13)$$

При наработке на отказ $\tau < t$ функция распределения $F(x)$ примет физический смысл вероятности отказа объекта за время, меньшее t :

$$F(t) = p(\tau < t). \quad (1.14)$$

Отказ объекта и его работоспособное состояние являются противоположными событиями, поэтому вероятность безотказной работы объекта в течение времени t может быть найдена по формуле

$$P(t) = 1 - F(t) = p(\tau < t), \quad (1.15)$$

$P(t)$ называют также функцией надежности.

Наряду с функцией распределения для задания случайной величины применяют так называемую плотность распределения. Она является первой производной от функции распределения $F(x)$ и определяется выражением

$$f(x) = F'(x), f(t) = F'(t). \quad (1.16)$$

Графически функция распределения $F(x)$, $F(t)$, надежности $P(t)$ и плотность распределения $f(x)$ представлены на рис. 1.2.

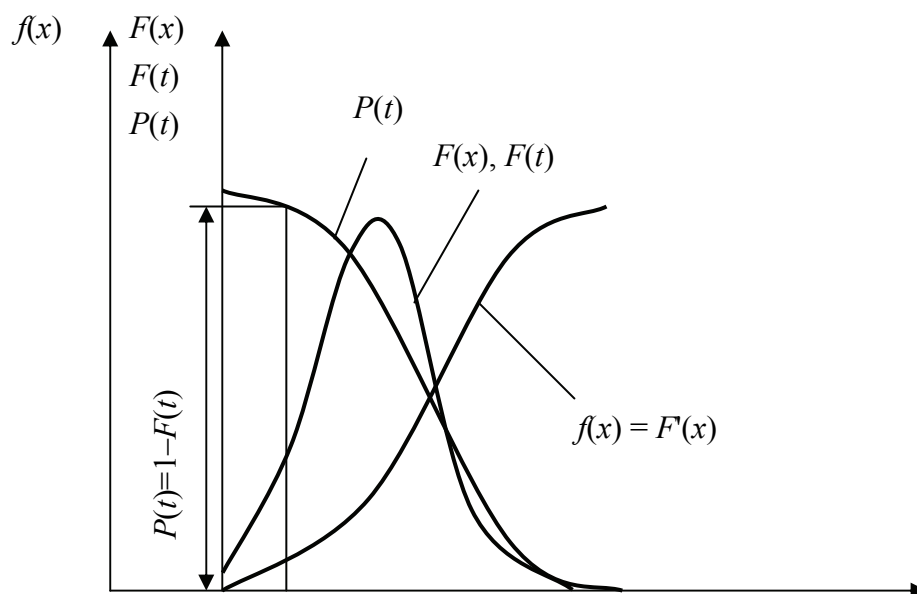


Рис.1.2. Графическое изображение функции надежности, распределения и плотности: $P(t)$ – функция надежности; $F(x), F(t)$ – функция распределения (вероятность отказа объекта); $f(x)$ – плотность распределения случайной величины

При расчетах надежности различных объектов в качестве числовых характеристик обычно рассматривают математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратичное отклонение.

Математическое ожидание приближенно равно среднему арифметическому значению случайной величины:

$$M[x] = m_x = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (1.17)$$

где n – число наблюдений.

Центрированной случайной величиной, соответствующей величине $\overset{\circ}{X}$, называется отклонение случайной величины X от ее математического ожидания:

$$\overset{\circ}{X} = X - m_x = X - M[x]. \quad (1.18)$$

Дисперсией случайной величины X называется математическое ожидание соответствующей центрированной величины:

$$D[X] = M \left[\overset{\circ}{X}^2 \right]. \quad (1.19)$$

Дисперсия характеризует степень рассеивания случайной величины относительно математического ожидания.

Для случайных дискретных величин

$$D[X] = Dx = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \cdot P_i. \quad (1.20)$$

Для случайных непрерывных величин

$$D[X] = Dx = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 \cdot f(x) \cdot dx. \quad (1.21)$$

Для оценки рассеивания случайной величины используют также среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}. \quad (1.22)$$

Среднеквадратичное отклонение для случайных дискретных величин определяется с учетом (1.20), а для случайных непрерывных величин с учетом (1.21).

1.4. Законы распределения наработки до отказа и их применение в расчетах показателей надежности оборудования

1.4.1. Законы распределения наработки до отказа

При анализе и расчетах надежности одной из необходимых операций является установление на основании статистических данных закона распределения вероятностей наработки до отказа или других случайных вели-

чин: времени восстановления, числа отказов за некоторый период эксплуатации, срока службы и т. д. При расчетах надежности технологического оборудования используются следующие основные законы распределения: экспоненциальный, Вейбулла, нормальный и гамма-закон.

Экспоненциальный закон характеризуется следующими параметрами:

а) плотностью распределения наработки до отказа:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1.23)$$

где λ – интенсивность отказов;

б) вероятностью отказа за время t :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad (1.24)$$

в) вероятностью безотказной работы (функция надежности):

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t}; \quad (1.25)$$

г) математическим ожиданием наблюдаемых значений наработки до отказа объекта (среднее время безотказной работы):

$$T_0 = M(t) = \frac{1}{\lambda}; \quad (1.26)$$

д) дисперсией наработки до отказа:

$$D(t) = \frac{1}{\lambda^2}; \quad (1.27)$$

е) среднеквадратичным отклонением наработки до отказа:

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = T_0 = M(t). \quad (1.28)$$

Равенство среднеквадратичного отклонения среднему времени безотказной работы – характерный признак экспоненциального закона.

При экспоненциальном законе интенсивность отказов $\lambda(x) = \lambda = 1/T_0 = \text{const}$ является величиной постоянной, обратно пропорциональной среднему времени безотказной работы.

Это означает, что если время работы объекта до отказа подчиняется экспоненциальному закону, то предыдущее использование объекта до некоторого определенного времени t не влияет на оставшееся время работы до отказа. Это свойство экспоненциального закона с практической точки зрения означает, что в процессе эксплуатации объект не испытывает влияния износа. Следовательно, для отказов, связанных с износом, этот закон неприменим. Он характерен для внезапных, аварийных отказов, связанных с поломками и разрушениями объекта.

Применение экспоненциального закона дает возможность получить результаты, пригодные для оценки надежности вновь разрабатываемых объектов. С экспоненциальным законом хорошо согласуются распределения наработки до отказа сложных восстанавливаемых систем, к которым относится большинство горных машин и оборудования.

Закон Вейбулла имеет два параметра и задается плотностью распределения вероятности наработки до отказа и функцией распределения.

Плотность распределения определяют по формуле

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} \cdot \ell \left(\frac{t}{a} \right)^b. \quad (1.29)$$

Функцией распределения является

$$F(t) = 1 - \ell \left(\frac{t}{a} \right)^b, \quad (1.30)$$

где a и b – коэффициенты, определяющие масштаб распределения кривой плотности распределения по оси x и y .

Функцией надежности является

$$P(t) = \ell \left(\frac{t}{a} \right)^b. \quad (1.31)$$

Вероятность отказа вычисляется по формуле

$$Q(t) = 1 - \ell \left(\frac{t}{a} \right)^b. \quad (1.32)$$

Интенсивность отказов определяют по формуле

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1}. \quad (1.33)$$

Величины a и b всегда положительны. При $b = 1$, $a = 1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное. Это будет частным случаем распределения наработки до отказа по закону Вейбулла. При $b < 1$ интенсивность отказов становится убывающей функцией времени, поэтому закон Вейбулла с параметром $b < 1$ можно использовать для оценки надежности объектов в период их приработки и в других случаях, когда преобладают внезапные отказы. При $b > 1$ распределение Вейбулла характеризуется возрастающей интенсивностью отказов и его удобно использовать для оценки надежности объектов, длительное время находящихся в эксплуатации, а также при ускоренных испытаниях.

Распределение Вейбулла применимо для описания случаев нестационарного потока отказов с изменяющейся плотностью потока во времени. Оно хорошо описывает усталостные отказы, возникающие в результате совместного воздействия износа и ударных нагрузок, например, отказа шарикоподшипников, других объектов, состоящих из последовательно соединенных дублированных элементов.

Нормальный закон хорошо описывает постепенные отказы, вызванные износом и старением.

Плотность нормального распределения вычисляют по формуле

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \ell^{\frac{-(t-t_0)}{2\sigma^2}}. \quad (1.34)$$

Функцией распределения является

$$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-t_0}{\sigma}\right). \quad (1.35)$$

где Φ – нормированная функция Лапласа, определяемая по специально составленной таблице.

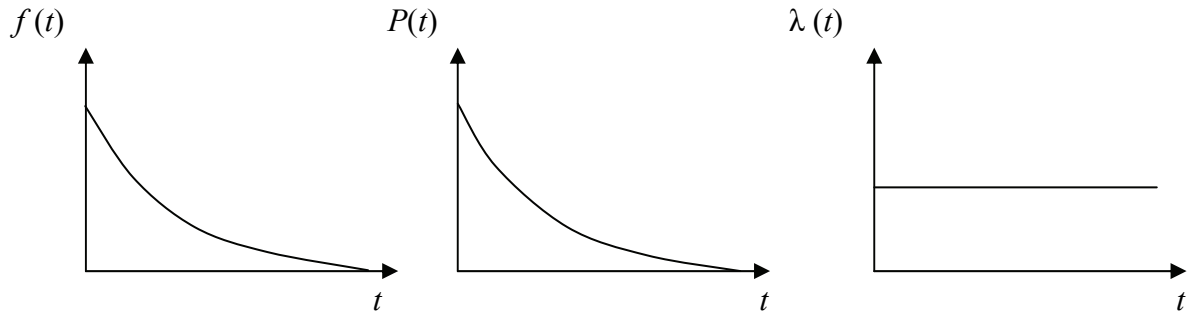
Особенность нормального закона заключается в том, что практически все рассеяние (99,73 %) случайной величины укладывается на участке $t + 3\sigma$, т. е. в пределах шести квадратичных отклонений.

Это позволяет, зная значение t_0 и σ , практически определить диапазон возможных значений случайной величины.

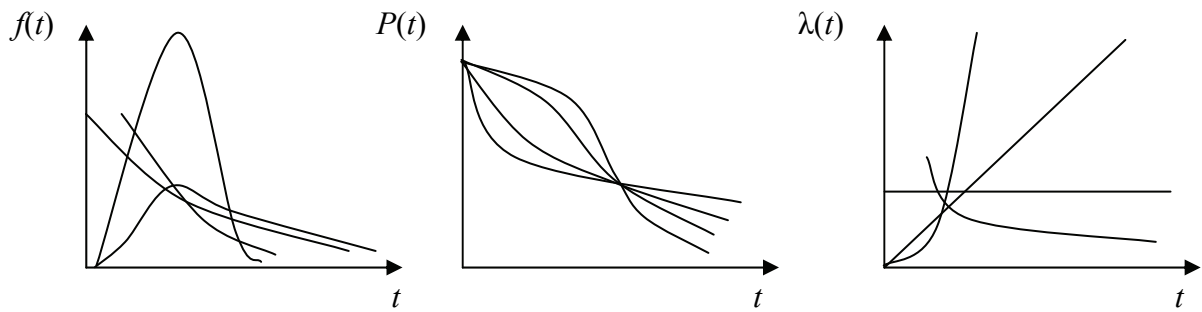
Кроме рассмотренных законов в теории надежности применяются и другие законы распределения – Релея, гамма-закон, логарифмически нормальный закон и др. Наиболее универсальным является закон Вейбулла.

Кривые изменения количественных характеристик надежности во времени для различных законов распределения показаны на рис. 1.3.

Экспоненциальный закон



Закон Вейбулла



Нормальный закон

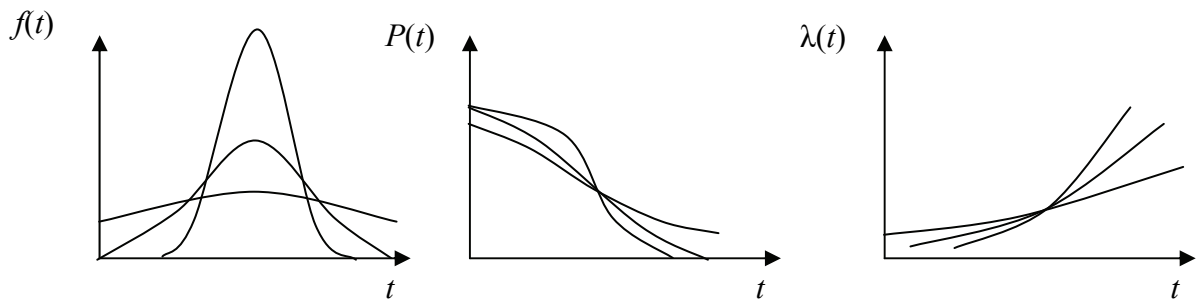


Рис.1.3. Кривые изменения количественных характеристик надежности во времени для различных законов: $f(t)$ – плотность нормального распределения; $P(t)$ – функция надежности; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов

1.4.2. Расчет показателей надежности оборудования

Расчет надежности элементов

Элементы технологических агрегатов делят на невосстанавливаемые и восстанавливаемые.

У невосстанавливаемых элементов рассматривают только первичные отказы, у восстанавливаемых – первичные и повторные.

Надежность невосстанавливаемых элементов

Надежность невосстанавливаемых элементов характеризуется показателями безотказности – вероятностью безотказной работы, вероятностью отказа, средней наработкой до отказа и интенсивностью отказов, а также показателями долговечности – гамма-процентным ресурсом.

Пример 1.1

Произведено наблюдение за отказами $N_0 = 10$ подшипников качения одного типа. Нарботка t_i их до отказа составила 35, 43, 28, 18, 36, 24, 50, 60, 40, 38 часов.

Вычислить вероятность безотказной работы подшипников в течение 40 часов, интенсивность отказов в период между 30 и 50 часами работы и среднюю наработку до отказа подшипников.

Решение

1. Определяем вероятность безотказной работы P . Так как до момента времени $t > 40$ ч безотказно проработали подшипники с наработкой 43, 50, 60 и 40 ч (четыре подшипника, т. е. $N_t = 4$), то вероятность безотказной работы рассматриваемых подшипников равна (формула (1.1))

$$P_t = \frac{N_t}{N_0} = \frac{4}{10} = 0,4.$$

Вычисляем интенсивность отказов в период работы подшипников между 30 и 50 ч (формула 1.6):

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{N_{30} - N_{(30+20)}}{N_{30} \cdot (50 - 30)} = \\ &= \frac{7 - 2}{7 \cdot 20} = 0,0357, 1/\text{ч}.\end{aligned}$$

3. Определяем среднюю наработку до отказа (формула (1.4)):

$$T_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i = \frac{35 + 43 + 28 + 18 + 36 + 24 + 50 + 60 + 40 + 38}{10} = 37,2 \text{ ч}.$$

4. Определяем вероятность отказа до момента времени работы 40 ч (формула (1.3)):

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,4 = 0,6.$$

Пример 1.2

Время безотказной работы сальникового уплотнения гидроцилиндра подчиняется закону Вейбулла с параметрами $b = 1,5$; $a = 1\ 000$. Вычислить вероятность безотказной работы и интенсивность отказов уплотнения в течение $t = 100$ ч после начала эксплуатации.

Решение

1. Определяем вероятность безотказной работы уплотнения гидравлического цилиндра, т. е. функцию надежности (формула 1.31):

$$P(t) = \ell^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} = 2,432^{-\left(\frac{100}{1000}\right)^{1,5}} = 0,97.$$

2. Вычисляем интенсивность отказов (формула 1.33):

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} = \frac{1,5}{1\ 000} \left(\frac{100}{1\ 000}\right)^{0,5} = 0,0047,1/\text{ч}.$$

3. Находим вероятность отказа до момента времени работы $t = 100$ ч;

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1,0 - 0,97 = 0,03(3\%).$$

Пример 1.3

При испытании на износ $N_0 = 100$ одинаковых зубчатых колес в течение $t = 300$ ч из строя вышли 8 колес. Определить вероятность безотказной работы колес за 300 часов работы и 90 % ресурс их работы при условии, что время их безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону с параметром $\lambda = 0,03$ 1/ч.

Решение

1. Определяем вероятность безотказной работы колес в течение 300 ч (формула (1.1), либо (1.25)):

$$P(t) = \frac{100 - 8}{100} = 0,92, \quad P(t) = \ell^{-\lambda \cdot t} = \ell^{-0,03 \cdot 300} \approx 0,92.$$

2. Вычисляем 90 %-й ресурс работы (формула (1.8)):

$$\ell^{-\lambda \cdot t_{90}} \geq \frac{90}{100}, \quad P(t) = \ell^{-\lambda \cdot t_{90}} \geq \frac{90}{100},$$

Следовательно, время работы 100 зубчатых колес, в течение которого вероятность их безотказной работы будет не менее 0,9, составит не менее 3,5 ч:

$$\lambda \cdot t_{90} \cdot \ln \ell \geq \ln 0,9, \quad t_{90} \geq \frac{\ln 0,9}{0,03} \geq 3,5 \text{ ч.}$$

Надежность восстанавливаемых элементов

Функционирование восстанавливаемого элемента с точки зрения теории надежности представляет собой последовательность чередующихся интервалов работоспособного состояния и восстановления работоспособности после отказа.

Надежность восстанавливаемых объектов характеризуется вероятностью безотказной работы, параметром потока отказов и наработкой на отказ, если не учитывают время на восстановление объекта. При учете времени восстановления работоспособности объекта учитывают комплексные показатели надежности – коэффициент готовности K_r , оперативной готовности $K_{ог}$ и технического использования $K_{и}$.

Пример 1.4

Наблюдали за работой редуктора. Зарегистрировали $r = 8$ отказов. Нарботки t_i между отказами составили 30, 48, 50, 25, 28, 60, 54, 45 ч. Определить наработку до отказа редуктора и вероятность его безотказной работы за период $t = 40$ ч после каждого его восстановления.

Решение

1. Определяем наработку на отказ редуктора (формула 1.5):

$$T_0 = \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{r} = \frac{30 + 48 + 50 + 25 + 28 + 60 + 54 + 45}{8} = 42,5 \text{ ч.}$$

2. Определяем вероятность безотказной работы:

$$P_t = \frac{N_{\sigma_0}}{r} = \frac{5}{8} = 0,625.$$

Здесь N_{σ_0} – число наработок, в течении которых редуктор отработал безотказно 40 и более часов. В нашем примере $N_{\sigma_0} = 5$ (48, 50, 60, 54 и 45 ч), r – число отказов, по условию примера $r = 8$.

Пример 1.5

Определить коэффициент готовности $N = 5$ экскаваторов за период $T_{\text{раб}} = 365$ суток (1 год) между двумя плановыми и первыми текущими ремонтами, если известно, что за этот период экскаваторы проработали соот-

ветственно время T_i : 243, 250, 237, 268, 273 суток (здесь с учетом времени восстановления).

Р е ш е н и е

Определяем коэффициент готовности:

$$K_r = \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{N \cdot T_{\text{раб}}} = \frac{243 + 250 + 237 + 268 + 273}{5 \cdot 365} = 0,7.$$

Пример 1.6

Определить коэффициент технического использования крана в механическом цехе в период между 6 плановыми текущими ремонтами. Интервалы между ремонтами следующие:

m_i	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	
tp_i	28	28	24	30	26		суток

Ежесуточно в интервалах между ремонтами кран в механическом цехе подвергался техническому обслуживанию в течение 1 ч. Продолжительность простоев крана на ремонтах $tp_k = 6, 8, 7, 6, 8, 6$ ч (простои перед 1-м интервалом и после последнего не учитываются).

Р е ш е н и е

1. Продолжительность простоев крана на техническом обслуживании равна

$$t_{\text{то}} = \sum_{i=1}^m tp_i \cdot \frac{1}{24} = (28 + 28 + 24 + 30 + 26) \cdot \frac{1}{24} = 5,7 \text{ сут.}$$

2. Суммарное время нахождения крана в работоспособном состоянии

$$t_c = \sum_{i=1}^m tp_i - t_{\text{то}} = (28 + 28 + 24 + 30 + 26) - 5,7 = 130,3 \text{ сут.}$$

3. Суммарная продолжительность простоев крана на ремонтах

$$t_p = \sum_{R=1}^r t_{\text{рк}} = \frac{6 + 8 + 7 + 6 + 8 + 6}{24} = \frac{41}{24} = 1,7 \text{ сут.}$$

4. Коэффициент технического использования крана

$$K_{\text{ти}} = \frac{t_c}{t_c + t_{\text{то}} + t_p} = \frac{130,3}{103,3 + 5,7 + 1,7} = 0,95.$$

Расчет надежности системы

Различают системы с последовательным (основным) соединением элементов, параллельным (резервированным) и комбинированным.

При последовательном соединении отказ одного элемента сразу приводит к отказу всей системы. При параллельном соединении отказ наступает тогда, когда отказали параллельные элементы (например, система подачи сжатого воздуха в буровые агрегаты с несколькими параллельно работающими компрессорами, система водоотлива предприятий и др. (рис. 1.4)).

По характеру обслуживания системы делят на невосстанавливаемые и восстанавливаемые.

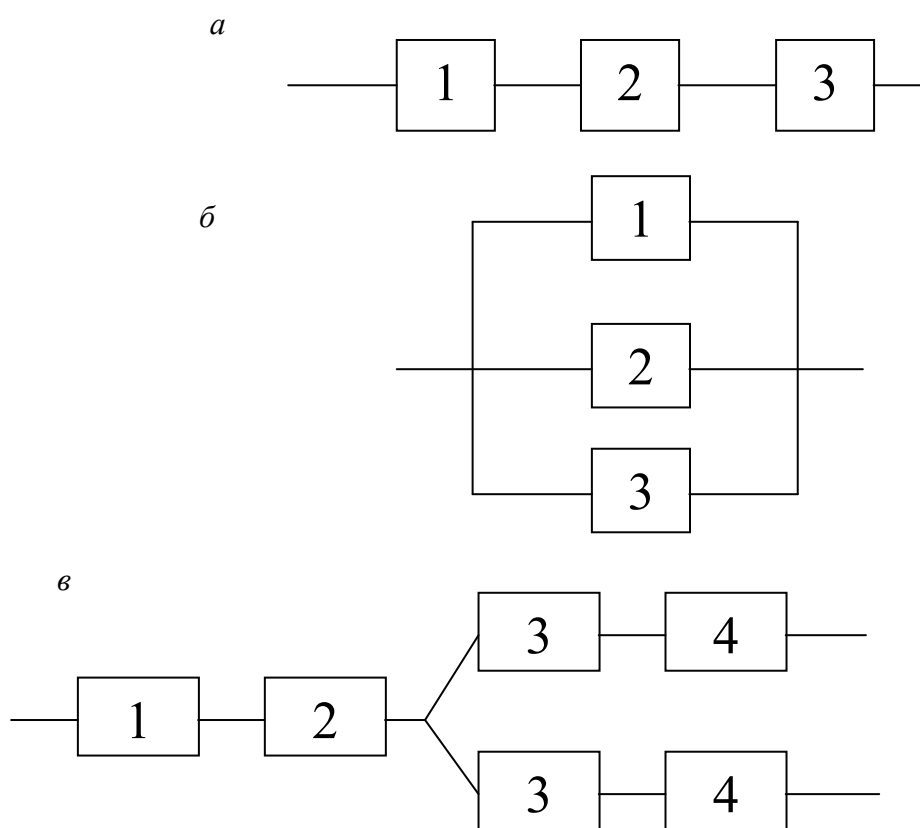


Рис.1.4. Функциональные схемы систем: *a* – с последовательным соединением элементов; *б* – с параллельным соединением элементов; *в* – с комбинированным соединением

Надежность невосстанавливаемых систем

При расчете надежности невосстанавливаемых систем с последовательным соединением полагают, что отказы элементов независимы. В этом случае вероятность безотказной работы (функция надежности) системы R

течение времени t равна произведению вероятностей безотказной работы всех ее элементов:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (1.36)$$

При расчете надежности невосстанавливаемых систем с параллельным соединением элементов (например, подшипниковые узлы конвейеров) вероятность безотказной работы вычисляют по вероятности отказа системы за время t :

$$Q_c(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot Q_3(t) \dots Q_n(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t). \quad (1.37)$$

Тогда вероятность безотказной работы определится по формуле

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t). \quad (1.38)$$

При расчете надежности невосстанавливаемых систем с комбинированным соединением элементов упрощают функциональные схемы, в конечном счете, переходя на последовательное соединение с укрупненными элементами. В этом случае расчеты вероятности безотказной работы ведут по формулам (1.37) и (1.38) при перестройке системы от параллельного к последовательному соединению и по формуле (1.36), когда составлена окончательная последовательная схема соединения системы из укрупненных элементов.

Надежность восстанавливаемых систем

Вычислим надежность систем с последовательным соединением элементов.

Вероятность возникновения и отказов определяется по формуле Пуассона в промежутках времени от наработки t_1 до t_2 :

$$P_n(t_1; t_2) = \frac{[\Omega(t_2) - \Omega(t_1)]^n}{n!(1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n)} \cdot e^{-[\Omega(t_2) - \Omega(t_1)]}, \quad (1.39)$$

где $\Omega(t_1) = \sum_{i=1}^k \Omega_i(t_1)$; $\Omega(t_2) = \sum_{i=1}^k \Omega_i(t_2)$ – ведущие функции (математические ожидания элементов), т. е. средние значения отказов.

Надежность систем с параллельным соединением элементов

Надежность систем с параллельным соединением элементов обычно характеризуют коэффициентом готовности, определяемым как сумма вероятностей состояний системы при различных количествах элементов, находящихся в работоспособном состоянии:

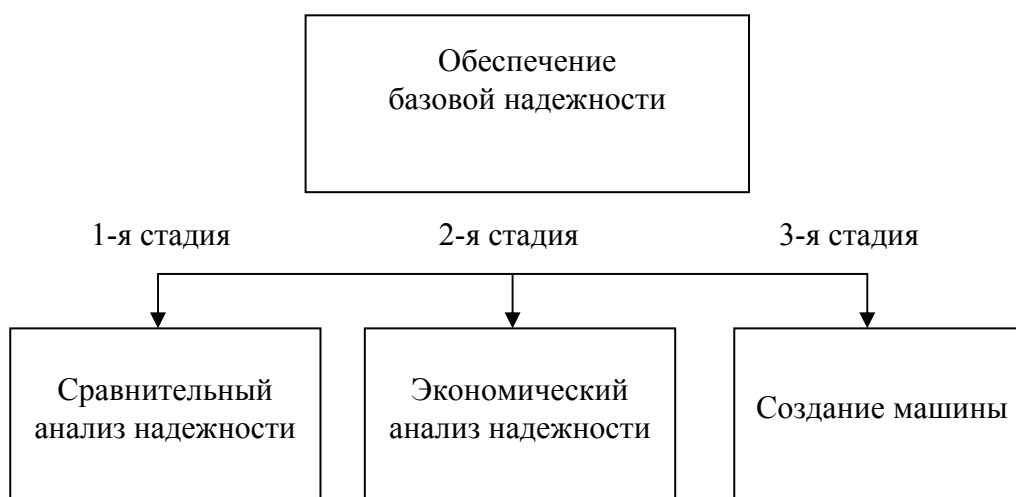
$$K_r = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n}, \quad (1.40)$$

где P_i – вероятность состояния; n – число состояний.

1.5. Обеспечение надежности горной техники

1.5.1. Обеспечение базовой надежности

Обеспечение базовой надежности включает в себя три основные стадии [3.4]:



На первой стадии проводят анализ надежности различных вариантов конструкции оборудования, выбирают окончательный вариант с наибольшей надежностью. На этой стадии важную роль играет статистическая информация, накопленная службой главного механика (наработка до отказа, сроки проведения ТО и ремонта и др.).

На второй стадии проводят экономический анализ надежности окончательного варианта конструкции оборудования. Выбирают такой вариант, при котором достигается минимум общих затрат на проектирование, изготовление, техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) оборудования в течение всего периода эксплуатации до списания. Как правило, во время проведения ТО и Р делают модернизацию (реконструкцию) оборудования, особенно с низкой базовой надежностью. В этом случае затраты на машину будут состоять из трех основных статей: проектирования и изготовления, модернизации, проведения ТО и Р.

Теоретически надежность может быть очень высокого уровня, однако затраты на такое оборудование могут оказаться настолько большими, что сделают его эксплуатацию нерентабельной. Это оборудование не может себя окупить.

Задача экономического анализа заключается в назначении такого уровня надежности, при котором достигается минимум общих затрат при максимальной эффективности работы оборудования. Изменение затрат в зависимости от уровня надежности показано на рис. 5.

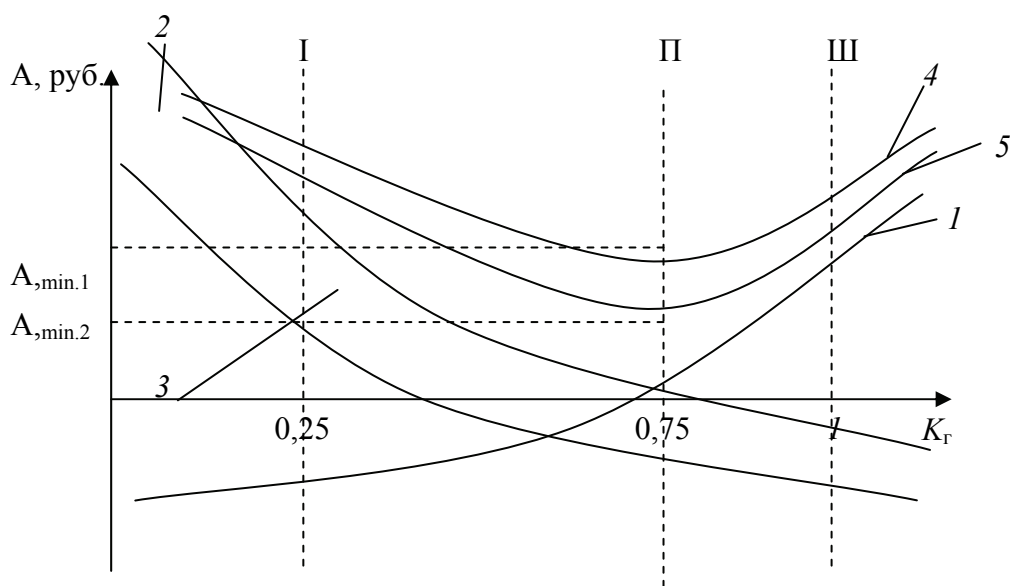


Рис.1.5. Изменение затрат в зависимости от уровня надежности

Из рис. 1.5 следует, что с увеличением уровня надежности затраты на проектирование и изготовление (кривая 1) резко возрастают, затраты на ТО и Р (кривая 2) и модернизацию (кривая 3) уменьшаются и стремятся к 0 при $K_r = 1$. Оптимальный уровень надежности соответствует минимальным затратам (кривая 4). Если базовая надежность высокая, то реконструкцию, как правило, не назначают. В этом случае, однако, уровень надежности будет снижен (кривая 5).

На рис. 1.5 вертикали I, II и III соответствуют различным конструкциям машины. У машины I будет низкая стоимость проектирования и изготовления, но высокие затраты на ТО и Р, а также реконструкцию, что нецелесообразно. У машины III конструкция также неэкономична, несмотря на высокий уровень надежности. Оптимальной является конструкция II.

Третья стадия – рабочее проектирование, изготовление и испытание оборудования. На этом этапе решаются проблемы повышения долговечности деталей оборудования (выбор материалов, методов упрочнения, необходимой смазки и др.), ремонтпригодности, контроля состояния узлов в процессе эксплуатации, чистоты поверхности и т. д. Важным этапом является испытание и обкатка оборудования. Испытания проводят на специальных стендах, обкатку – на легких режимах работы. Особое место в третьей стадии занимает разработка документации на ТО и Р. Крайне важно правильно и грамотно определить структуру ремонтного цикла, составить карту смазки, определить нормативы на ТО и Р.

1.5.2. Обеспечение эксплуатационной надежности

Обеспечение эксплуатационной надежности осуществляется следующими путями:

- сбором и обработкой информации о состоянии оборудования;
- модернизацией оборудования;
- совершенствованием методов эксплуатации и проведения ТО и Р.

В службе главного механика этой работой занимаются бюро эксплуатации оборудования, бюро ППР, конструкторский отдел. Часто для сбора информации создают службу инспекции оборудования (анализ температуры узлов трения, давления масла, износа деталей, величины вибраций и т. д.). Информацию заносят в карты инспекций. В результате формируется банк данных об эксплуатации оборудования, который может быть обработан на ЭВМ, и могут быть получены точные объемы ремонтных работ, сроки их проведения и продолжительность.

Информация о состоянии оборудования включает в себя частоту и причины отказов, данные о расходе запасных частей и частоте их замены, о простоях, об изменении размеров, структуры и свойств материала деталей в процессе эксплуатации и т. д.

Одним словом, проводится техническая диагностика состояния машины. Эти сведения могут быть дополнены стоимостью, трудоемкостью изготовления и ремонтов деталей, расходом смазки, электроэнергии и т. д.

Во время обработки информации делается заключение о причине отказов, о слабых местах в машине и принимается решение об изменении конструкции, об удалении слабых мест, изменении практики эксплуата-

ции, пересмотре структуры ремонтного цикла с изменением межремонтного периода.

При расчете очередного межремонтного периода задаются требуемой безотказностью работы оборудования к началу очередного ремонта [3; 4]. Эта вероятность для горных машин обычно составляет

$$P_{\text{тр}} = 0,8 - 0,85.$$

Вероятность безотказной работы к началу очередного ремонта определяется по формуле

$$P(t_1 + T_p) = \ell^{-\int_0^{t_1+T_p} \lambda(t) dt}, \quad (1.41)$$

где t_1 – предшествующий период эксплуатации, ч; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов, 1/ч; T_p – время очередного межремонтного периода, ч.

Учитывая, что

$$P(t_1 + T_p) = P(t_1) \cdot P(T_p / t_1) = P_{\text{тр}}, \quad (1.42)$$

а также допуская, что надежность оборудования после последнего ремонта перед планируемым остается, как если бы оборудование было новым, т. е. $P(t_1) = 1$, имеем $P(T_p / t_1) = P(t_1 + T_p)$. Тогда

$$** \quad P\left(\frac{T_p}{t_1}\right) = \ell^{-\int_{t_1}^{t_1+T_p} \lambda(t) dt} = P_{\text{тр}}.$$

Логарифмируя выражение (**), получаем

$$*** \quad \int_{t_1}^{t_1+T_p} \lambda(t) dt = -\ln P_{\text{тр}}$$

при экспоненциальном законе $\lambda = \text{const}$. Тогда

$$\lambda \cdot T_p = -\ln P_{\text{тр}},$$

где T_0 – средняя наработка до отказа (по годам).

$$T = \frac{-\ln P_{\text{тр}}}{\lambda}, \quad \frac{1}{\lambda} = T_0, \quad P_{\text{тр}} = 0,8 - 0,85,$$

Отсюда уменьшение межремонтного периода составит

$$T_p = -\ln(0,8 - 0,85) \cdot T_0. \quad (1.43)$$

Для других законов функция $\lambda(t)$ является возрастающей и может быть с достаточной точностью аппроксимирована прямой вида

$$\lambda(t) = a + bt. \quad (1.44)$$

a и b – принимают на основании предыдущего опыта эксплуатации или уточняются методом наименьших квадратов. В этом случае, подставляя $\lambda(t)$ в (***), получаем

$$T_p = -\frac{a + bt_1}{b} + \sqrt{\frac{(a + bt_1)^2}{b^2} - \frac{b}{2} \cdot \ln P_{\text{тр}}}. \quad (1.45)$$

На основании статистических данных об отказах оборудования за предшествующий период эксплуатации устанавливают закон распределения и оценивают вид функции интенсивности отказов (t).

2. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

2.1. Система эксплуатации горных машин

2.1.1. Производственная и техническая эксплуатация

Эксплуатацию горного оборудования можно разделить на производственную и техническую [5].

Каждый вид эксплуатации содержит свой комплекс мероприятий, состоящий из отдельных направлений работ, выполнение которых на определенном этапе обеспечивает эффективность и безопасность использования горных машин.

Комплекс мероприятий, входящий в производственную эксплуатацию, должен быть направлен на рациональную и бесперебойную работу оборудования за счет качественной подготовки кадров, правильного выбора горных машин, высокой организации их работы и рационального использования.

Подготовка кадров включает в себя обучение обслуживающего персонала (операторов, машинистов, водителей и др.) и инженерно-технических работников.

Все рабочие и инженерно-технические работники, поступающие на предприятие, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию, а работающие непосредственно на открытых горных работах – периодическому освидетельствованию на предмет их профессиональной пригодности в соответствии с действующими нормативными документами.

Лица, поступающие на горное предприятие (в том числе и на сезонную работу), должны пройти предварительное обучение по технике безопасности с отрывом от производства в течение трех дней (ранее работавшие на горных предприятиях и рабочие, переводимые на работу по другой профессии, в течение двух дней), быть обучены правилам оказания первой помощи пострадавшим, сдать экзамены по утвержденной программе комиссии под председательством главного инженера предприятия или его заместителя.

При внедрении новых технологических процессов и методов труда, а также при изменении требований или введении новых правил и инструкций по технике безопасности все рабочие должны пройти инструктаж в объеме, устанавливаемом руководством предприятия.

Допуск к работе лиц, не прошедших предварительного обучения, запрещен. Повторный инструктаж по технике безопасности должен проводиться не реже двух раз в год с регистрацией в специальной книге.

Каждый вновь поступивший рабочий после предварительного обучения по технике безопасности должен пройти обучение профессии в объеме и в сроки, установленные программами, и сдать экзамен. Всем рабочим под расписку администрация обязана выдать инструкции по безопасным методам ведения работ по их профессии.

К управлению горными и транспортными машинами допускаются лица, прошедшие специальное обучение, сдавшие экзамены и получившие удостоверение на право управления соответствующей машиной.

Машинисты и помощники машинистов горных и транспортных машин, управление которыми связано с оперативным включением и отключением электроустановок, должны иметь квалификационную группу по технике безопасности в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей в зависимости от напряжения (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Квалификационные группы машинистов и помощников машинистов горных и транспортных машин

Напряжение, В	Профессия	Квалификационная группа
До 1 000	Машинист	Не ниже III
	Помощник машиниста	Не ниже II
Выше 1 000	Машинист	Не ниже IV
	Помощник машиниста	Не ниже III

Наличие указанных квалификационных групп по технике безопасности дает право машинистам и их помощникам производить оперативные переключения и техническое обслуживание только в пределах закрепленной за ними горной (транспортной) машины и ее приключательного пункта.

При временном переводе машинистов и их помощников на другие горные машины выполнение указанных работ разрешается после ознакомления их с системой электроснабжения этого оборудования.

Проверка знаний безопасных методов работы машинистами и помощниками машинистов горных и транспортных машин должна проводиться ежегодно комиссиями, назначаемыми предприятием.

К техническому руководству горными работами допускаются лица, имеющие законченное высшее или среднее горно-техническое образование или право ответственного ведения горных работ.

Руководящие и инженерно-технические работники предприятий, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых открытым способом, а также организаций, разрабатывающих для этих предприятий проекты, оборудование, обязаны не реже одного раза в три года проходить проверку знаний или Правил безопасности и инструкций в вышестоящей организации или органах госгортехнадзора.

На карьерах производительностью менее 10 000 м³ горной массы в год без проведения подземных или взрывных работ к техническому руководству горными работами могут быть допущены лица, не имеющие права ответственного ведения горных работ, но со стажем работы на карьерах не менее двух лет.

Инженерно-технические работники, поступающие на карьер (в том числе и переводимые с другого карьера), обязаны сдать экзамен по единым Правилам безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым (подземным) способом.

2.1.2. Сборка машин и оборудования

Технологическим процессом сборки называют комплекс сборочных и слесарных работ, выполняемых для того, чтобы из отдельных деталей и узлов получить готовую машину [6].

Сборка деталей в узлы называется узловой сборкой, сборка машины из узлов – общей сборкой.

В процессе сборки применяют различные методы, основой которых в зависимости от типа изделия и объемов работ может быть стационарная сборка, подвижная поточная сборка и стационарная поточная сборка.

Стационарная сборка применяется в мелкосерийном и единичном производствах. Сборка осуществляется на одном месте, куда подаются детали либо узлы.

Подвижная поточная сборка применяется в крупносерийном и массовом производстве. Изделия при сборке обычно находятся на одном или двух конвейерах.

Стационарная поточная сборка также применяется при крупносерийном и массовом производстве. Машина собирается на неподвижном стенде. Отдельные бригады, выполнив свои работы на одном стенде, переходят к другому.

Для обеспечения непрерывности поточной сборки необходимо, чтобы длительность отдельных операций была равна такту (темпу) выпуска машин, т. е. времени, в течение которого машину собирают:

$$T_{\text{оп}} = \tau, \quad T_{\text{оп}} = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n, \text{ ч.}$$

Такт сборки определяют по формуле

$$\tau = \frac{k \cdot (T_{\text{см}} - T_{\text{об}} - T_{\text{н.п}})}{M}, \text{ ч,} \quad (2.1)$$

где k – коэффициент запаса производительности участка (должен быть максимально приближен к единице); $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч; $T_{\text{об}}$ – затраты времени на обслуживание рабочих, ч; $T_{\text{н.п}}$ – затраты времени на нормированные перерывы рабочих, ч; M – заданный выпуск машин в смену, ед.

При $T_{\text{оп}} > \tau$ прерывается поточность, при $T_{\text{оп}} < \tau$ наблюдаются простои рабочих.

Точность сборки зависит от технологического процесса и качества изготовления деталей.

Заданную точность сборки можно обеспечить следующими видами:

- 1) полной взаимозаменяемостью;
- 2) селективной сборкой;
- 3) подбором;
- 4) применением компенсаторов;
- 5) пригонкой или изготовлением деталей по месту.

Выбор вида сборки зависит от количества одновременно ремонтируемых однотипных машин, от принятой системы организации ремонта и его технической оснастки; квалификации ремонтных рабочих; конструктивных особенностей узлов и машины в целом.

Большую роль в сборке играет взаимозаменяемость.

Сборка с применением полной взаимозаменяемости наиболее проста и экономична. Детали соединяются без подбора и дополнительной пригонки. Однако этот вид требует обработки деталей с высокой точностью, сложной контрольно-измерительной техники.

Селективная сборка заключается в том, что осуществляется подбор пар с заданными зазорами или натягами. Для этого детали вначале сортируют по размерам.

Сборка подбором заключается в том, что увеличивают допуски на все звенья и затем постепенно подбирают пары. В этом случае сборка удешевляется, однако снижается точность сборки.

Сборка с применением компенсаторов осуществляется двумя способами:

введением в звено неподвижного компенсатора – прокладок, шайб, колец, втулок и др.

изменением положения одной из деталей с помощью клина, пружины, муфты, упорной втулки и т. д.

Сборка пригонкой или изготовлением детали по месту заключается в подгонке заданных размеров деталей в соединении с помощью механической обработки.

Сборку неподвижных соединений производят следующим образом.

В процессе сборки узлов создаются неразъемные и разъемные неподвижные соединения. К неразъемным относятся сварные, паяные и заклепочные соединения. К разъемным неподвижным соединениям относят детали с прессовыми насадками.

Сборку неподвижных соединений проводят следующими способами:

- 1) сборку с нагревом детали;
- 2) сборку с охлаждением;
- 3) запрессовкой;
- 4) сборку с помощью болтов и шпилек.

Сборка с нагревом детали

В соединении «вал – втулка» нагревают втулку таким образом, чтобы расширение отверстия было больше натяга. Зависимость между натягом и температурой нагрева следующая:

$$N \leq d \cdot \alpha \cdot t, \text{ мм}, \quad (2.2)$$

где N – натяг, мм; d – диаметр вала, мм; α – коэффициент расширения отверстия, $1/^\circ\text{C}$; t – температура нагрева, $^\circ\text{C}$.

Отсюда температура нагрева равна

$$t \geq \frac{N}{d \cdot \alpha}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.3)$$

С учетом остывания в процессе сборки практическую температуру нагрева берут в 2 раза выше расчетной. Однако следует помнить, что при нагреве не следует выходить за пределы темно-красного каления. При сборке деталей из сталей температура нагрева не должна превышать 700°C . Следует также иметь в виду, что при нагреве может произойти отпуск закаленных деталей.

Охлаждение вала

В случае невозможности нагрева отверстия (большие габариты шкива, колеса, барабана и др.), специальной закалки отверстия сборку можно осуществить охлаждением вала с помощью жидкого воздуха или азота и кислорода при температуре -180 – -193°C . При этом применяют специальные ванны, сосуды Дьюара, деревянные ящики. При использовании жидкого кислорода, во избежание взрыва, на валу и в ванне не должно быть смазочных и воспламеняющихся (лакокрасочных) материалов. Научно

обосновано, что глубокое охлаждение упрочняет поверхность детали и повышает ее износостойкость.

Запрессовка деталей

Для запрессовки вала в отверстие подшипника либо цапфы необходимо создать определенное усилие, по которому подбирают оборудование: прессы (гидравлические или винтовые), съемники. Наибольшее усилие для запрессовки, необходимое при сборке соединения с натягом, равно

$$P = f \cdot \pi \cdot d \cdot \ell \cdot \sigma_{сж}, Н, \quad (2.4)$$

где $f = 0,06-0,22$ – коэффициент трения при запрессовке; d, ℓ – соответственно, диаметр и длина отверстия втулки, мм; $\sigma_{сж}$ – напряжение сжатия на контактной поверхности, МПа.

Поскольку $\sigma_{сж}$ на практике определить довольно сложно, то применяют следующие зависимости:

для стального вала и стальной втулки зависимость

$$P = 2,18 \cdot 10^4 \cdot N \cdot \ell = 22 \cdot N \cdot \ell, \text{ кН}, \quad (2.5)$$

для стального вала и чугунной втулки –

$$P = 12 \cdot N \cdot \ell, \text{ кН}. \quad (2.6)$$

Сборка на болтах и шпильках

При многоболтовом соединении следует избегать перекосов. Болты должны быть затянуты равномерно без срыва резьбового соединения.

Сборка подвижных соединений. Сборка подшипников скольжения

Перед началом сборки подшипники подгоняют под шейки вала, а на вале изготавливают смазочные канавки в ненагруженной части подшипника. Сборку подшипников с тонкостенными вкладышами осуществляют таким образом, что после прижатия вкладыша к поверхности гнезда между валом и подшипником (вкладышами) создается натяг, который не должен превышать

$$N = (0,5 \cdot d) \cdot 10^{-3}, \text{ мм}, \quad (2.7)$$

где d – диаметр цапфы вала, мм.

Для обеспечения указанного натяга подкладывают в стыки вкладышей прокладки из латуни (рис. 2.1)

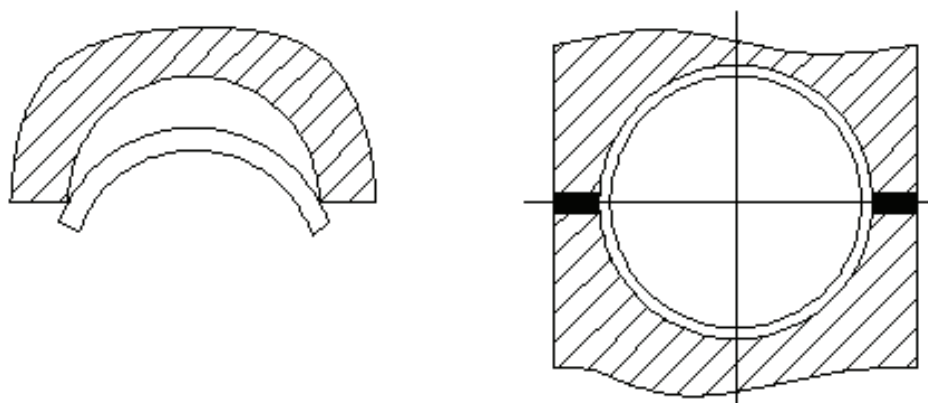


Рис. 2.1. Схема сборки подшипника скольжения

При использовании в качестве подшипников скольжения пластмассовых втулок (из полиамидов капрона и др.) зазор между цапфой и втулкой увеличивают в 1,5–2,0 раза больше, чем для стальных соединений в связи с тем, что коэффициент линейного расширения пластмасс при нагреве почти в 10 раз больше, чем у стали.

Сборка подшипников качения

Перед сборкой вал и подшипник тщательно промывают, смазывают небольшим слоем смазки. В связи с запрессовкой вала в кольцо подшипника либо подшипника в корпус зазор между внутренней и внешней обоймами уменьшается ориентировочно на величину

$$\delta = (0,55 - 0,65) \cdot N, \text{ мм},$$

где N – натяг в соединении, мм.

В связи с этим появляется опасность защемления шариков (либо роликов) между обоймами в подшипнике и выходе его из строя.

Проверить натяг можно по формуле

$$N = \frac{13 \cdot 10^{-5} \cdot k \cdot Q}{b - 2r}, \text{ мм},$$

где $k = 2,78$ – для легкой серии; $k = 2,27$ – средней серии; $k = 1,96$ – для тяжелой серии; b – ширина подшипника; r – радиус закругления, мм; Q – полная нагрузка на подшипник, Н.

Существуют следующие способы сборки подшипников качения:

1. С помощью прессы или домкрата;
2. С помощью резьбы (рис. 2.2, *а*);
3. С помощью втулки (рис. 2.2, *б*);
4. С помощью нагрева в масле до $t = 70-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ подшипника и быстрой его насадки на вал.

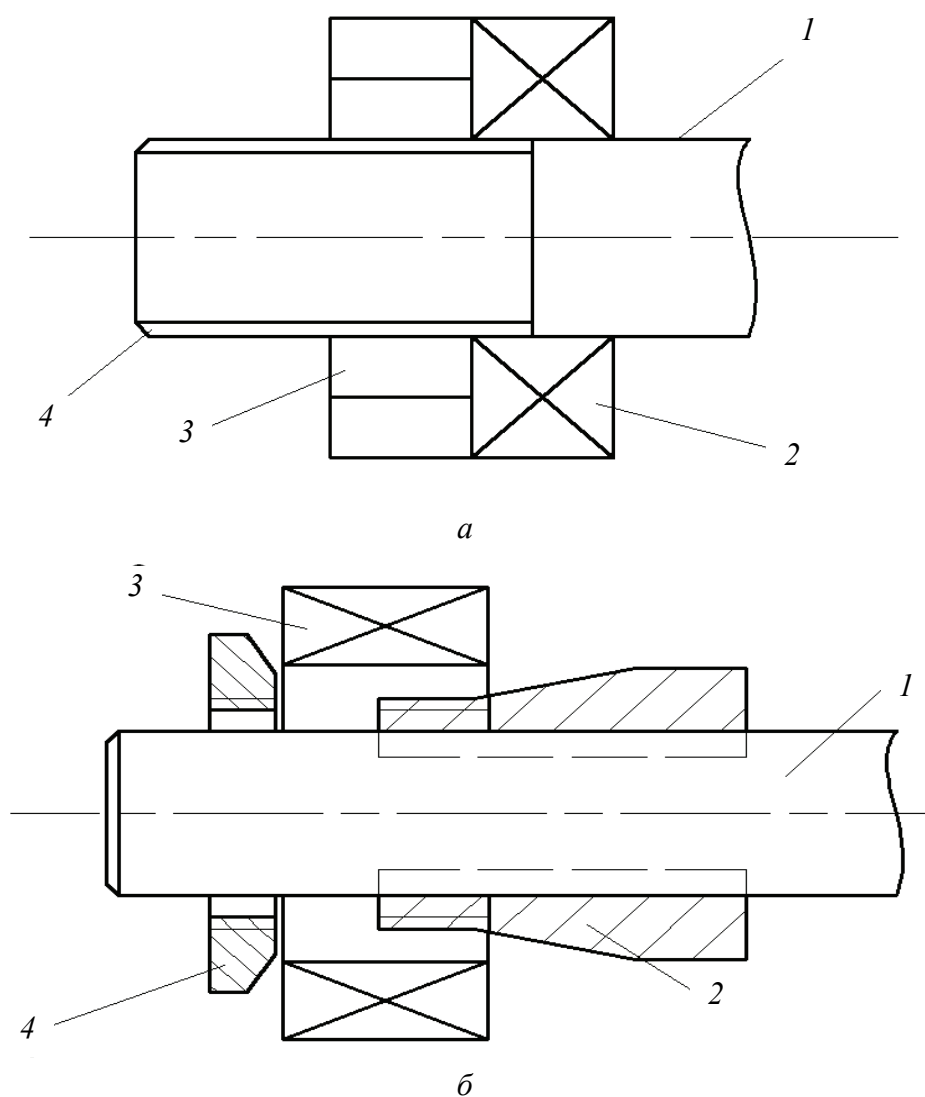


Рис. 2.2. Схемы сборки подшипников качения: *а* – 1 – вал; 2 – подшипник; 3 – гайка; 4 – резьба; *б* – 1 – вал; 2 – втулка разрезка; 3 – подшипник; 4 – гайка

После окончания сборки подшипников качения необходимо проверить легкость вращения. При недостаточной легкости нужно устранить следующее:

перекос вала или гнезда;

слишком тугую посадку;
чрезмерную набивку смазкой либо ее отсутствие;
трение уплотнений о вал.

Сборка валов

Основными показателями качества сборки валов являются:

1. Легкость вращения вала в подшипниках;
2. Отсутствие вибраций при вращении;
3. Радиальное и осевое биения, не превышающие установленных норм;
4. Точность положения вала относительно основных баз корпуса, в котором смонтирован вал.

В процессе сборки контролируют параллельность, отклонения формы, горизонтальность, радиальное биение, точность посадки вала в подшипник и подшипника в корпус. Сборка валов и степень точности ее зависят от вида опор – скольжения либо качения.

Сборка валов на опорах скольжения

Одним из основных условий качественной сборки является обеспечение гарантированного зазора между опорными шейками вала и рабочими поверхностями втулок подшипников. Зазор определяется условиями работы вала: если нужно точное центрирование и высокая виброустойчивость, то назначают посадки с минимальным зазором.

При монтаже валов возможны следующие погрешности:

- отклонение формы поверхностей шеек вала и втулок в осевом и поперечном сечениях (конусность, бочкообразность, эллипсность, корсетность и др.);
- отклонение от соосности, непараллельность осей отверстий втулок подшипников и осей опорных шеек вала.

При малых зазорах между валом и подшипником есть опасность заклинивания вала. Радиальное биение возникает, когда появляются отклонения от соосности поверхности опорных шеек валов и других поверхностей либо когда имеется погрешность в сечении – овальность и др.

Проверка параллельности

Она осуществляется с помощью штангенциркуля (рис. 2.3) следующим образом:

- а) при расположении торцов в одной плоскости, т. е. когда измеряют расстояние между центрами валов, при этом контролируют d_1 и d_2 (рис. 2.3, а);
- б) при расположении торцов в различных плоскостях, когда измеряют расстояние между внешними образующими, при этом d_1 и d_2 обязательно контролируют (рис. 2.3, б);

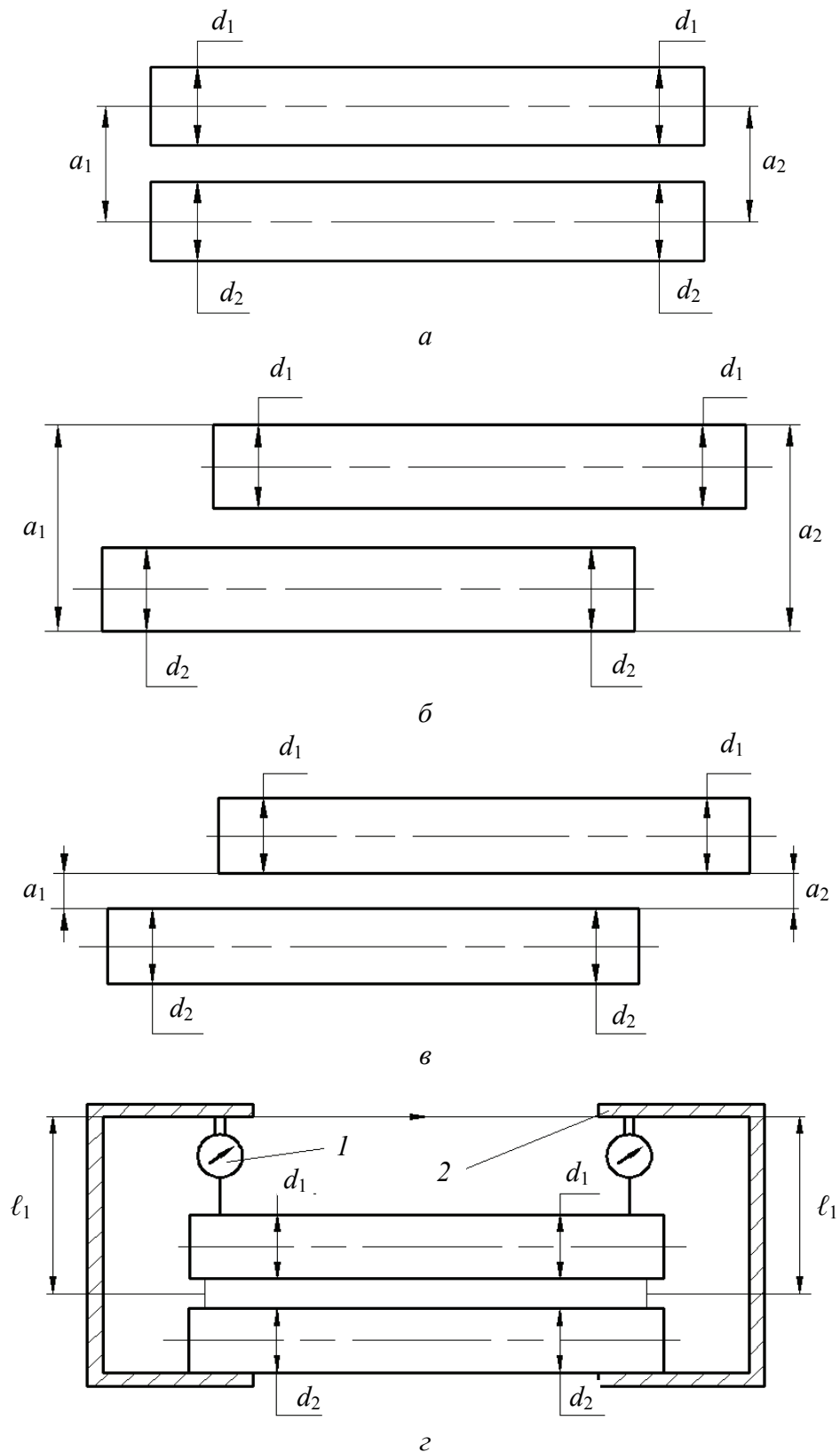


Рис. 2.3. Схемы проверки параллельности валов: а – при расположении торцов в одной плоскости; б, в – при расположении торцов в разных плоскостях; г – с помощью индикаторных головок и шаблонной рамки; 1 – шаблонная рамка; 2 – индикаторная головка

в) с помощью штангенса, когда измеряют расстояние между внутренними образующими (рис. 2.3, в);

г) с помощью индикаторных головок и шаблонной рамки, при этом контролируют d_1 и d_2 (рис. 2.3, г).

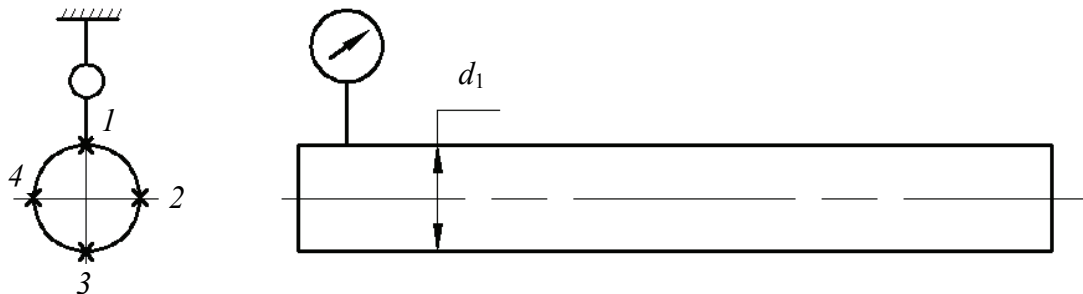


Рис. 2.4. Схема проверки отклонения формы поверхности вала

Проверка отклонения формы поверхности осуществляется с помощью штангенциркуля, микрометра и других измерительных инструментов. Измерения делают в одной плоскости по окружности в 4–6 точках (рис. 2.4).

Проверка горизонтальности вала

Данная проверка осуществляется с помощью скобы и отвеса или с помощью уровня (рис. 2.5).

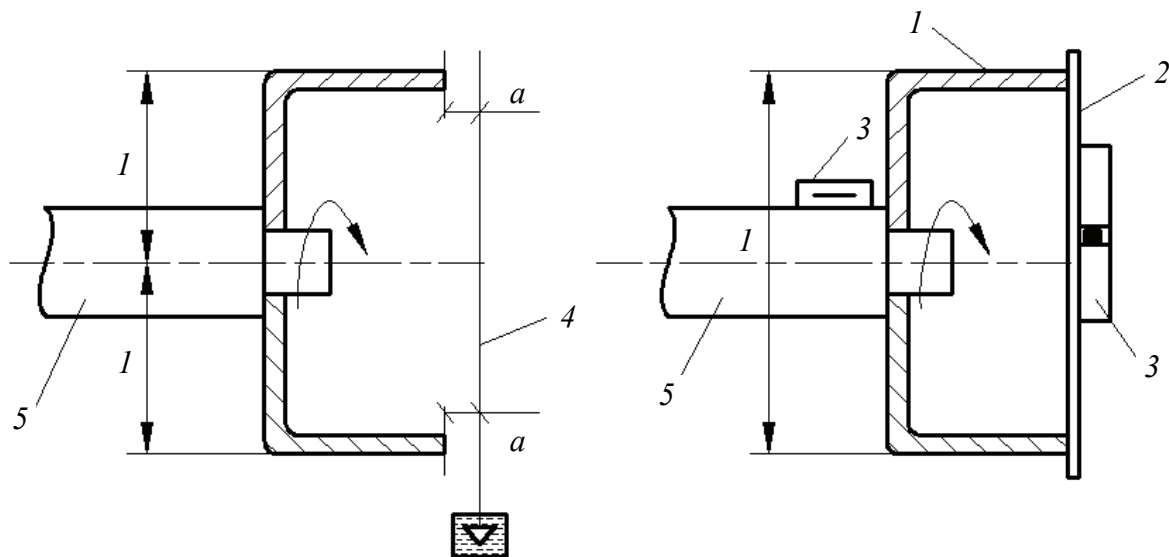


Рис. 2.5. Схемы проверки горизонтальности вала: 1 – скоба; 2 – пластина; 3 – уровень; 4 – отвес; 5 – вал

Проверка горизонтальности вала может осуществляться специальными приборами с помощью инфракрасных лучей.

Укладка вала на подшипники скольжения

Вначале добиваются горизонтального положения вала. Затем осуществляют покраску шеек вала (ультрамарином) и помещают в подшипники скольжения на вкладыши. По пятнам краски на вкладышах производят шлифовку вкладышей (шабрение). Шабрение часто проводят по блеску втулок в том или ином месте контакта с валом. При очень точной сборке в дополнение к шабрению делают притирку по «ложному» валу с такими же размерами, как и рабочий.

Сборка вала на опорах качения

Сборку контролируют по отношению к валу и корпусу. Подшипники качения пригонке не поддаются, поэтому сборку производят методом взаимозаменяемости и регулировки (рис. 2.6).

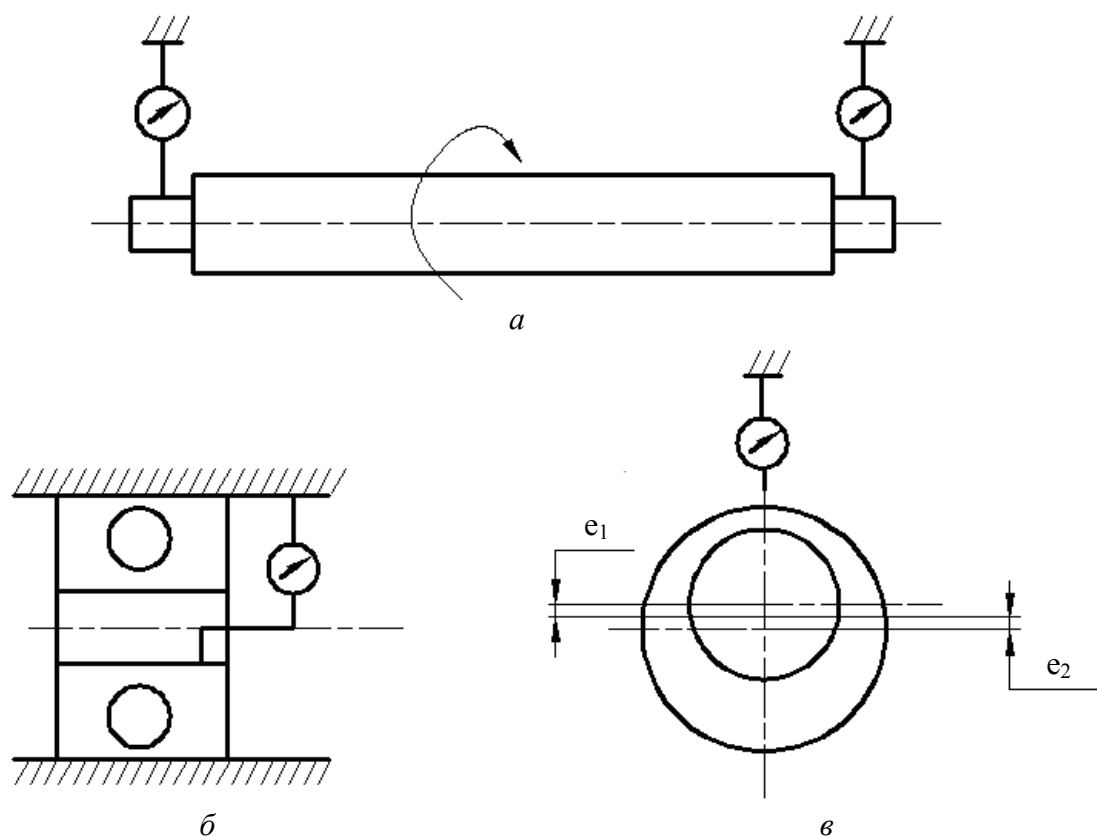


Рис. 2.6. Схема сборки вала на опорах качения: *a* – измерение эксцентриситета шеек вала; *б* – измерение эксцентриситета внутреннего кольца подшипника; *в* – расположение эксцентриситетов шейки вала и внутреннего кольца подшипника

Главной задачей является уменьшение радиального биения. Дело усугубляется наличием собственного биения подшипника.

Вначале следует измерить радиальное биение всех посадочных мест вала с помощью индикаторной головки (рис. 2.6, *а*).

Затем измеряют радиальное биение внутреннего кольца подшипника. Для этого применяют втулку-образец (рис. 2.6, *б*).

Радиальное биение вала и подшипника можно компенсировать, расположив эксцентриситеты вала и подшипника диаметрально противоположно (рис. 2.6, *в*).

Если радиальное биение вала в опорах устранить полностью не удастся, то нужно стремиться расположить его по одну сторону от оси вращения вала в каждой опоре. При этом желательно, чтобы биение вала в первой опоре было меньше, чем в задней. Это уменьшит радиальное биение конца вала (рис. 2.7, *а, б*). Наоборот, если требуется уменьшить радиальное биение середины вала, то радиальное биение вала в опорах необходимо направить в противоположные стороны от оси вращения (рис. 2.7, *в*).

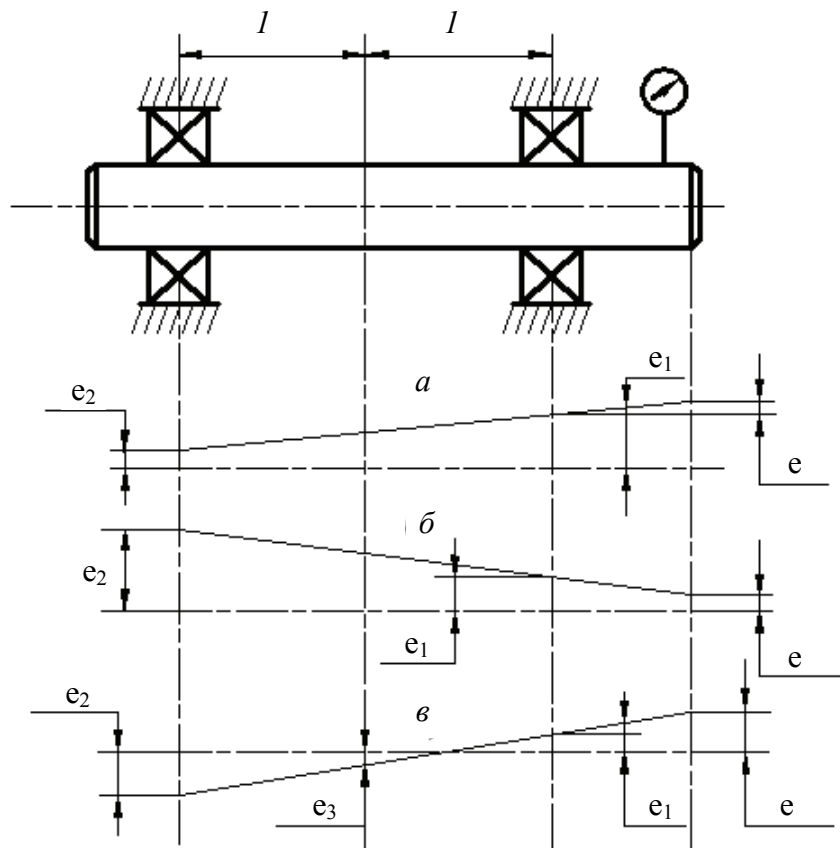


Рис. 2.7. Схемы способов уменьшения радиального биения вала в опорах

При сборке валов на подшипниках качения нужно контролировать радиальное биение вала относительно корпуса. Основные причины таких отклонений следующие:

отклонения отверстий от параллельности под опоры вала в корпусной детали;

эксцентрисичность поверхностей наружных колец подшипника (рис. 2.8).

Чтобы совместить ось вращения с требуемым положением A_1 при смещении отверстия A_2 в корпусе, равном e_{\max} , нужно осуществить следующее:

измерить в корпусе e_{\max} (рис. 2.8, *а*);

подобрать подшипник так, чтобы его наружное кольцо имело эксцентриситет e_3 равный $e_3 = e_{\max}$ (рис. 2.8, *б*);

пометить краской радиальную плоскость, в которой e_{\max} располагается у корпусной детали, со стороны, противоположной наибольшему смещению оси отверстия (рис. 2.8, *в*);

найти у наружного кольца радиальную плоскость, в которой располагается наибольший эксцентриситет e_3 и пометить его краской со стороны тонкой стенки;

смонтировать подшипник так, чтобы погрешность эксцентриситета e_3 была направлена в сторону, противоположную e_{\max} , т. е., чтобы совпали отметки на корпусе и наружном кольце подшипника.

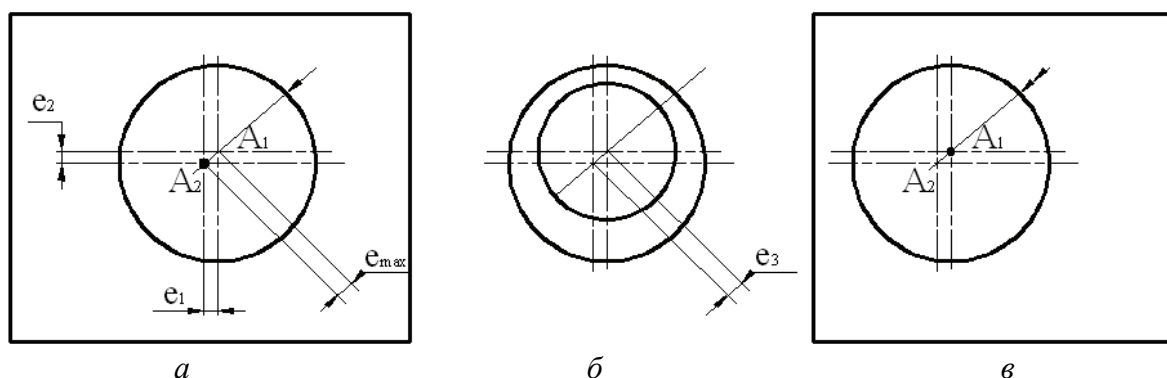


Рис. 2.8. Схемы способов уменьшения радиального биения вала относительно корпуса

В процессе сборки вала следует тщательно контролировать конусность и овальность отверстий в корпусе. Указанные отклонения деформируют кольца подшипника и беговые дорожки.

Сборка вала с муфтой

Для соединения двигателя или редуктора с валом наиболее часто применяют эластичные полумуфты. Соединив концы валов с помощью эластичных полумуфт, необходимо обеспечить их правильную центровку. Центровку ведут по полумуфтам, насаженным на концы валов соединяемых машин.

Эту работу проводят в два этапа:

1-й этап – осуществляют предварительную центровку с помощью линейки либо штангенциркуля, либо индикаторной головки;

2-й этап – центровку проводят с помощью центровочных скоб (рис. 2.9).

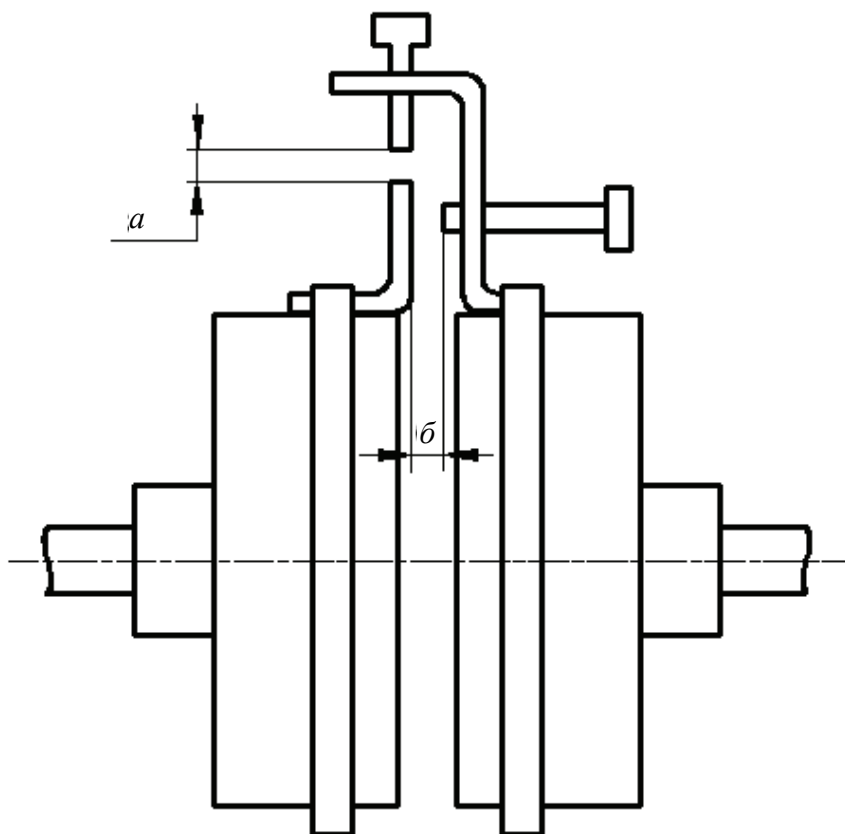


Рис. 2.9. Схема сборки вала с муфтой

Зазор a по окружности полумуфт – радиальный. Зазор b – осевой. Центровочные скобы могут устанавливаться на валы. При центровке со скобами радиальные и осевые зазоры измеряют в четырех положениях по окружности через каждые 90° .

Сборка зубчатых передач

Сборка цилиндрических зубчатых передач в себя включает:

установку и закрепление зубчатых колес на валах;

установку валов в корпусе;

проверку и регулировку зацепления.

Для колес малого диаметра зубчатое колесо на вал напрессовывают вручную. Зубчатые колеса большого диаметра и термически обработанные напрессовывают прессом с нагревом колеса либо охлаждением вала.

При запрессовке колеса наиболее часто встречаемыми погрешностями бывают:

искажение профиля зубчатого венца;

качание зубчатого колеса на шейке вала (рис. 2.10, *а*);

радиальное биение (рис. 2.10, *б*);

торцовое биение (рис. 2.10, *в*).

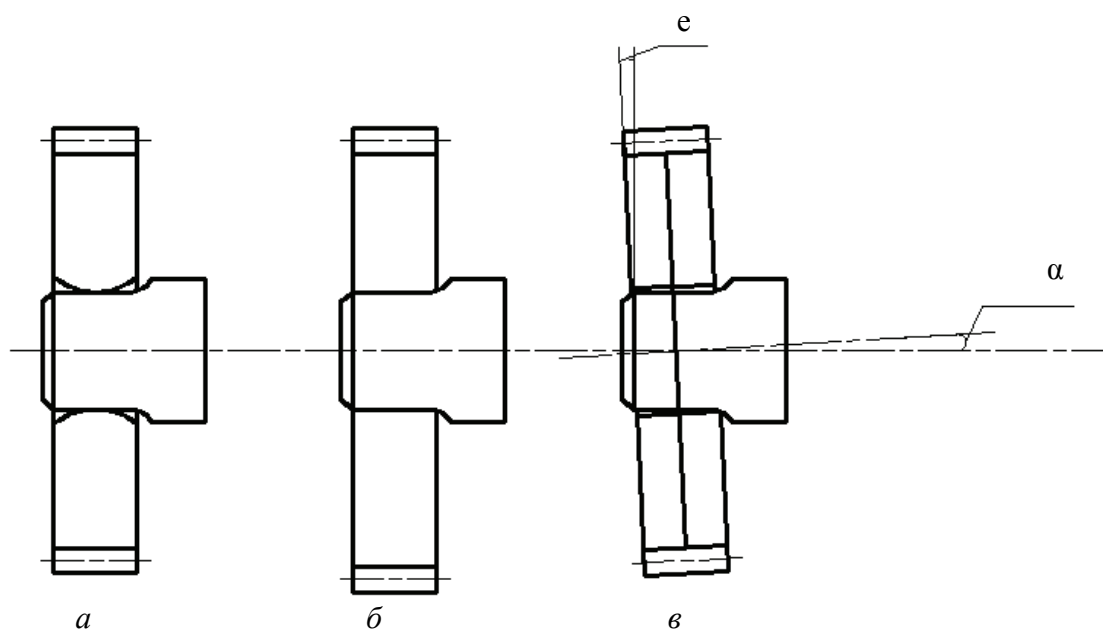


Рис. 2.10. Виды погрешностей при запрессовке зубчатого колеса

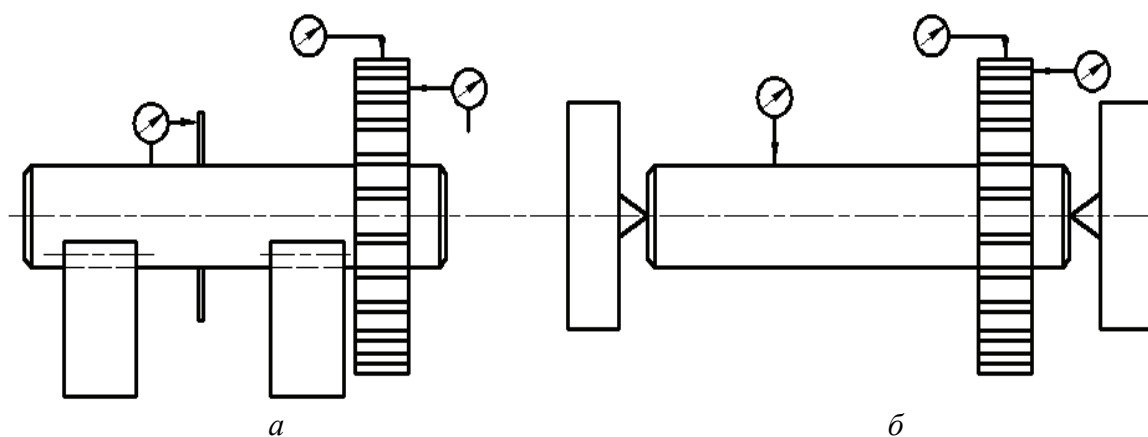


Рис. 2.11. Схемы контроля погрешности

Для проверки вал устанавливают на призмах (рис. 2.11, *а*) либо в центрах (рис. 2.11, *б*) и контролируют погрешность.

При сборке зубчатых колес важно обеспечить параллельность ведущего и ведомого валов в корпусе.

Для правильного зацепления цилиндрических колес оси вала должны лежать в одной плоскости и быть взаимно параллельными. Расстояние между осями валов должно быть равно (рис. 2.12)

$$L = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2}, \text{ мм}, \quad (2.7)$$

где m – модуль колес, мм; z_1, z_2 – соответственно, число зубьев на ведущем и ведомом колесах.



Рис. 2.12. Схема проверки параллельности валов

Допускается L несколько увеличенной, но не уменьшенной. Допуск на раздвижку осей должен находиться в пределах

$$\ell' = a \cdot m, \text{ мм}, \quad (2.8)$$

где a – коэффициент, зависящий от окружной скорости и типа передачи.

Для практических работ $a = 0,015–0,04$. Разность измерений межосевого расстояния на длине $\ell = 1$ м не должна превышать допуска на раздвижку осей:

$$L_1 - L_2 = \ell' \cdot \frac{\ell}{1000}, \text{ мм}.$$

При установке цилиндрических зубчатых колес важно обеспечить боковой и радиальный зазоры между зубьями (рис. 2.13).

Боковой зазор обеспечивает нормальную смазку колес, уменьшенный зазор приводит к выдавливанию смазки, заеданию колес и преждевре-

менному износу. При увеличенном зазоре зубья ударяются друг о друга, что часто приводит к поломке зубьев.

Боковой и радиальный зазоры и проверяют либо щупом, либо прокачиванием свинцовой пластинки, которую впоследствии измеряют.

Наименьший боковой зазор определяют по формуле

$$\Delta\delta = 12 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2}}, \text{ мм.} \quad (2.9)$$

Нормальный боковой зазор рассчитывают по формуле

$$\Delta\delta = k \cdot m, \text{ мм,} \quad (2.10)$$

где k – коэффициент, зависящий от чистоты поверхности, типа колеса, окружной скорости, $k = 0,02-0,1$. Для необработанных зубьев $k = 0,16$.

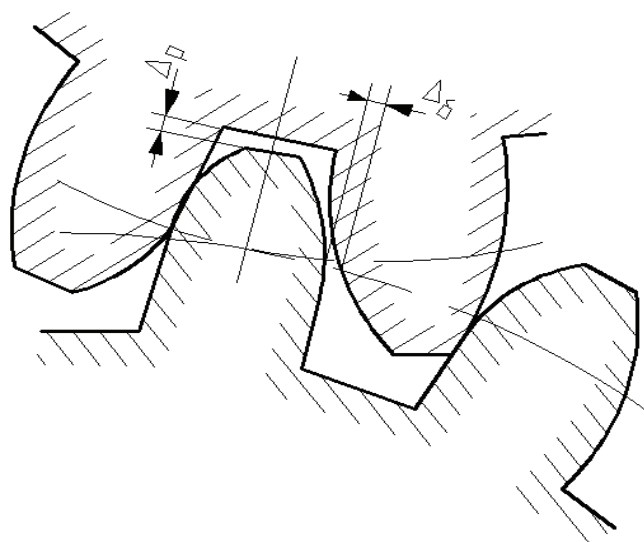


Рис. 2.13. Схема проверки бокового и радиального зазоров между зубьями

Радиальный зазор вычисляют по выражению

$$\Delta p = (0,015 - 0,03) \cdot m, \text{ мм.} \quad (2.11)$$

Радиальный зазор зависит в основном от качества изготовления.

Для быстроходных и тяжело нагруженных зубчатых передач зазоры устанавливают с учетом температурных расширений материала, из которых выполнены зубчатые колеса.

При установке в корпус расстояние между осями валов определяют по формуле

$$L_k = L(\ell + \alpha_k \cdot \Delta t_k), \text{ мм}, \quad (2.12)$$

где L – расстояние между осями валов в холодном состоянии, мм; α_k – коэффициент линейного расширения материала корпуса, $1/^\circ\text{C}$; Δt_k – превышение температуры корпуса относительно температуры окружающей среды, $\Delta t_k = t_k - t_o$, $^\circ\text{C}$.

Сумма радиуса ведомого и ведущего зубчатых колес при увеличении их вследствие нагрева во время работы

$$L_z = L(\ell + \alpha_z \cdot \Delta t_z), \text{ мм}, \quad (2.13)$$

где α_z – коэффициент линейного расширения материала зубчатых колес, $1/^\circ\text{C}$; Δt_z – превышение температуры колес относительно окружающей среды.

Изменение в положение зубчатых колес по направлению линии, соединяющей их центры, должно находиться в следующих пределах:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_k - L_z = L(\alpha_k \cdot \Delta t_k - \alpha_z \cdot \Delta t_z) = \\ &= \frac{m}{2}(z_1 + z_2) \cdot (\alpha_k \cdot \Delta t_k - \alpha_z \cdot \Delta t_z) \geq 0, \text{ мм} \end{aligned} \quad (2.14)$$

На радиальное биение зубчатые колеса проверяют с помощью индикаторной головки, помечая колеса в четырех точках и измеряя средние отклонения:

$$\Delta p_1 - \Delta p_3 = c \cdot m, \text{ мм}, \quad \Delta p_2 - \Delta p_4 = c \cdot m, \text{ мм}, \quad (2.15)$$

где c – коэффициент среднего отклонения и тип передачи, $c = 0,01-0,04$.

Боковой зазор, при котором следует заменять зубчатые колеса, определяется по формуле

$$\Delta \delta = b' \cdot m, \text{ мм}, \quad (2.16)$$

где $b' = 0,15-0,25$ – для колес 7 и 8 степени точности; $b' = 0,2-0,4$ – для колес 9 и 10 степени точности; $b' = 0,5$ – для тихоходных колес ($n < 300$ об/мин).

Качание зубчатых колес происходит в основном из-за ослабления шпонки или шлицев. Для точных колес угловое качание допускается на

радиусе 50 мм не более 0,02 мм и боковое качание – не более 0,05 мм. Качание проверяют индикаторами.

Сборка конических зубчатых колес

Качество сборки обеспечивается правильностью пересечения осей валов, точностью углов между осями колеса, правильностью касания зубьев, величиной бокового и радиального зазора.

Отклонение для колес конических осей равно:

при $m = 2-8$ мм $\delta = (0,015-0,06)m$,

при $m = 8-14$ мм $\delta = (0,02-0,15)m$.

Правильность угла проверяют с помощью контрольных оправок (рис. 2.14).

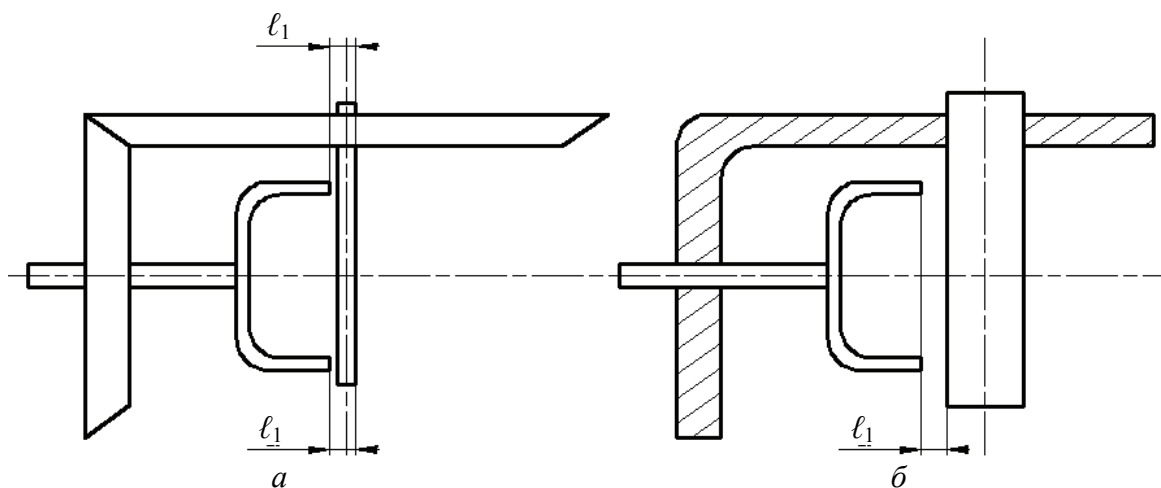


Рис. 2.14. Схемы сборки конических зубчатых передач:
а – по валам; б – по отверстиям в корпусе

Точность установки зубчатых колес проверяют с помощью краски. Меньшие колеса покрывают краской (зубья), делают 3–4 оборота и смотрят отпечатки. Для колес 7-й степени точности краска должна покрыть не менее 75 % длины и 60 % высоты зуба, 8-й степени точности – на 60 и 40 %, 9-й – на 50 и 30 %, 10-й – на 40 и 20 %.

Сборка червячных передач

С целью качественной сборки червячной передачи между витками червяка и зубьями колеса должен быть зазор (мертвый ход червяка):

$$\Delta\delta = (0,015 - 0,06)t, \text{ мм}, \quad (2.17)$$

где t – торцевой модуль передачи, мм.

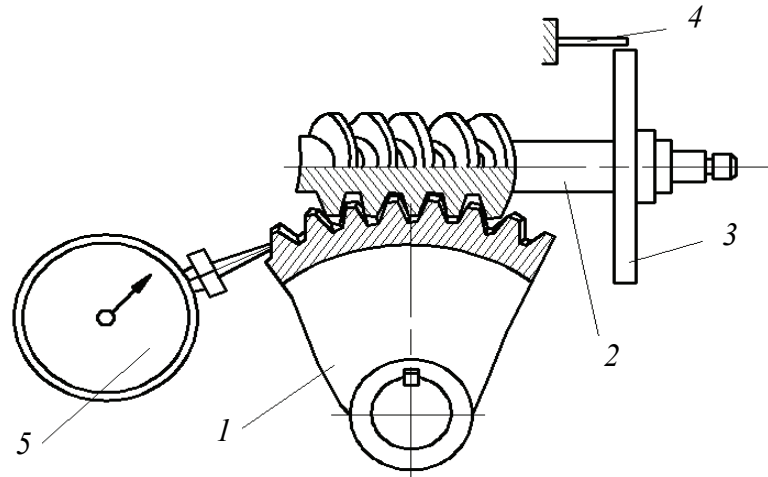


Рис. 2.15. Схема проверки мертвого хода червяка:
 1 – колесо; 2 – червяк; 3 – градуированный диск;
 4 – стрелка; 5 – индикатор

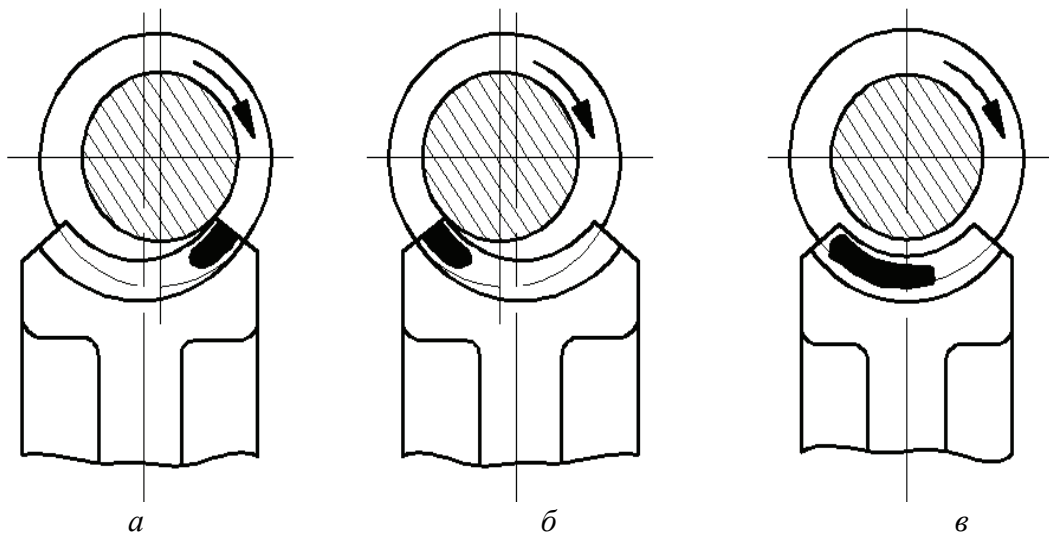


Рис. 2.16. Схема проверки степени прилегания профилей червяка и червячного колеса: *а* – смещение влево; *б* – смещение вправо; *в* – правильная регулировка

На червяк 2 (рис. 2.15) надевают градуированный диск 3, его проворачивают так, чтобы стрелка индикатора 5 не колебалась, т. е., чтобы колесо 1 было неподвижным. С помощью стрелки 4 устанавливают угол мертвого хода. Для передач 7-й и 8-й степени точности мертвый ход червяка дол-

жен быть в пределах 8–12 при однозаходном, 4–6 при двухзаходном, 3–4 – трехзаходном червяках.

Проверка степени прилегания профилей червяка и червячного колеса

Винт червяка покрывают краской и медленно проворачивают, смотрят отпечатки на зубьях колеса (рис. 2.16).

При правильной регулировке краска должна покрыть поверхность зубьев червяка не менее чем на 50–60 % по их длине и ширине.

Проверка постоянства вращения червяка

Окончательно собранную пару проверяют на легкость вращения. При любом положении червяка вал должен вращаться легко и плавно. Изменение момента не должно отличаться более чем на 30–40 %.

2.1.3. Монтаж машин и оборудования

При монтаже машин и оборудования большой объем занимают такелажные работы.

Такелажные работы

Такелажные работы проводятся с помощью такелажного оборудования, классификация которого представлена на рис. 2.17. К нему относят:

такелажные средства – канаты, цепи, зажимы, крюки, стропы, захваты;

такелажные устройства – мачты, подъемники, шевры, треноги;

такелажные машины и механизмы – лебедки, домкраты, тали, гидро-подъемники, автопогрузчики.

Во время такелажных работ важным и ответственным моментом является строповка. Необходимо тщательно увязать крупные узлы. Углы, по которым происходит касание стропов, должны быть округлены специальными предохранительными прокладками. Важно правильно определить центр тяжести груза, который должен находиться на одной вертикали с осью блоков крюковой подвески.

Стальные канаты используют при монтаже для изготовления стропов.

Наибольшее допускаемое усилие в канате определяют по формуле

$$S = \frac{P}{k}, \quad (2.18)$$

где P – разрывное усилие каната, гарантированное паспортом или ГОСТом; k – коэффициент запаса прочности, берется по справочникам в

зависимости от вида и назначения каната. При подвеске груза к крюку с помощью нескольких ветвей чалочного каната натяжение в каждой ветви определяется по формуле

$$S = \frac{Q}{m \cdot \cos \alpha} \cdot k_{\text{н}}, \text{ кН}, \quad (2.19)$$

где Q – вес груза, кН; m – число ветвей; α – угол наклона ветвей к вертикали (для устойчивого равновесия $\alpha < 60^\circ$); $k_{\text{н}}$ – коэффициент неравномерности нагрузки на ветви стропа.

Для двух ветвей каната $k_{\text{н}} = 1,0$; при числе ветвей больше двух $k_{\text{н}} = 1,3 \div 1,4$.

При такелажных работах часто применяют пластичные или сварные цепи. Натяжение в цепях рассчитывают аналогично стальным канатам с коэффициентом прочности $k = 3-8$ в зависимости от условий работы.

Подставив выражение (2.18) в (2.19), получим

$$\frac{P}{k} = \frac{Q \cdot k_{\text{н}}}{m \cdot \cos \alpha}, \quad (2.20)$$

откуда можно определить максимальный вес груза при подъеме и перемещении с помощью канатов конкретного типа:

$$Q = \frac{P \cdot m \cdot \cos \alpha}{k \cdot k_{\text{н}}}. \quad (2.21)$$

При известном весе груза можно определить необходимый тип каната по его паспортным характеристикам:

$$P = \frac{Q \cdot k_{\text{н}} \cdot k}{m \cdot \cos \alpha}. \quad (2.22)$$

При изготовлении из канатов строп образуют петли, используя зажимы различной конструкции в виде уголков (рис. 2.18, а) и в виде скоб (рис. 2.18, б).

Зажимы на канате размещают со стороны рабочей ветви каната, стремящийся к выскальзыванию канат при этом будет лучше держать (рис. 2.18, в).

Если груз поднимают двумя спаренными кранами разной грузоподъемностью, то используют разноплечие траверсы. Место крюка траверсы определяется из соотношения ее плеч с учетом грузоподъемности каждого каната (рис. 2.19).

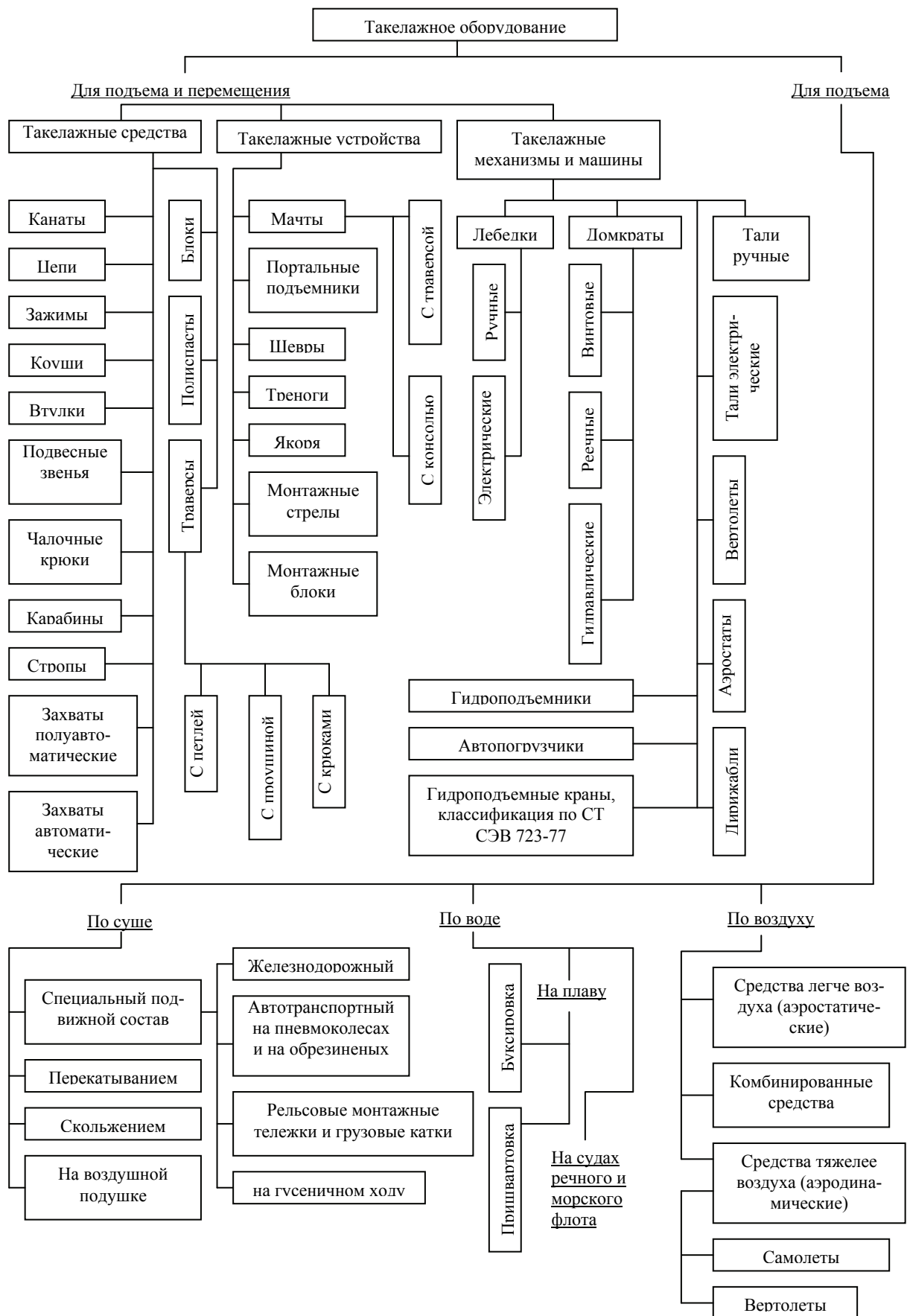


Рис. 2.17. Классификация такелажного оборудования

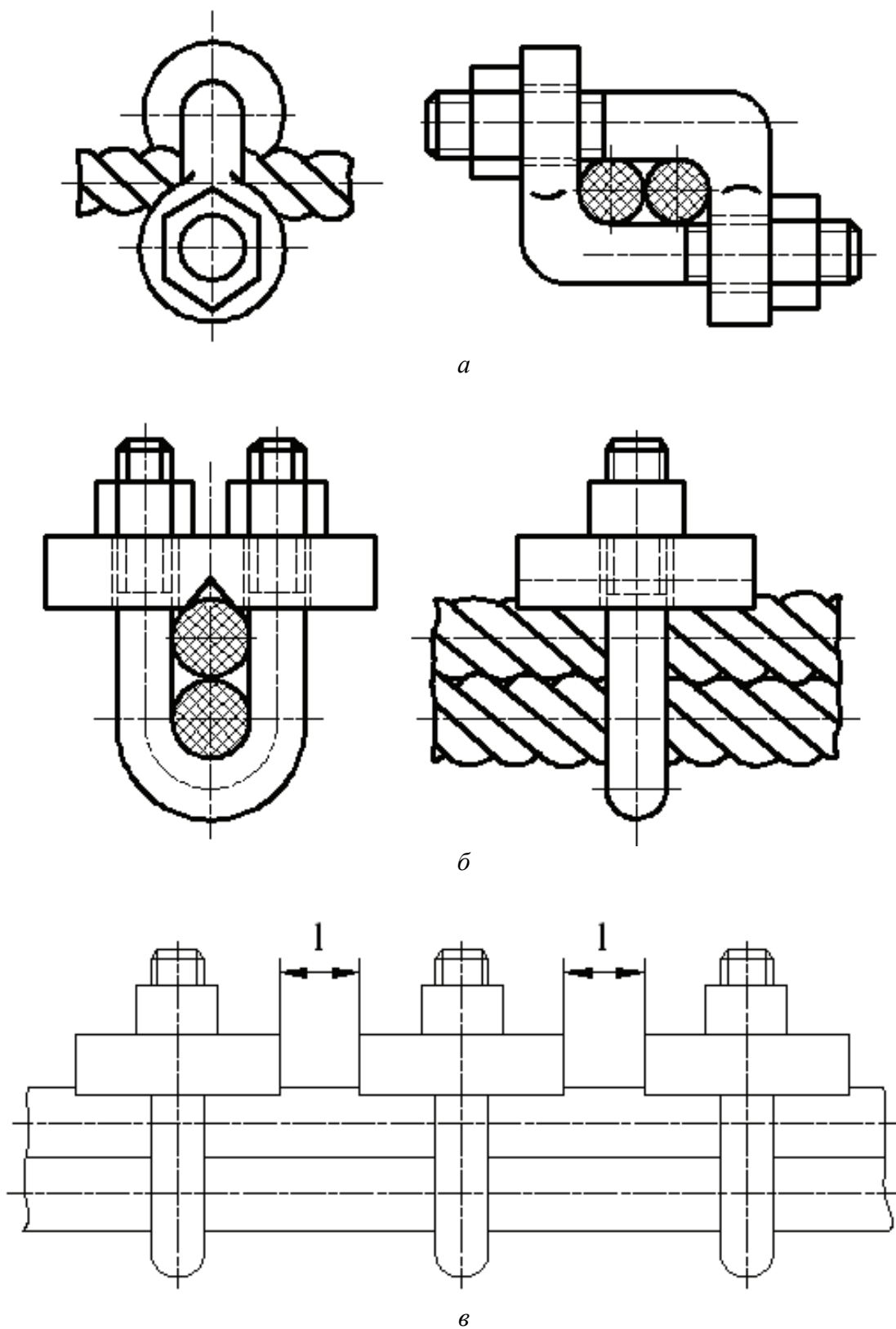


Рис. 2.18. Зажимы для крепления канатов: *a* – кованный; *б* – дуговой;
в – размещение зажимов по длине каната

Для уменьшения тягового усилия применяют полиспасты, состоящие из неподвижных и подвижных блоков. Усилие в канате определяют по выражению

$$S = Q \frac{1-\eta}{1-\eta^m}, \quad (2.23)$$

где Q – вес груза, кН; η – КПД одного ролика ($\eta = 0,96$ для ролика на подшипниках скольжения, $\eta = 0,96$ для ролика на подшипниках качения); m – кратность полиспаста.

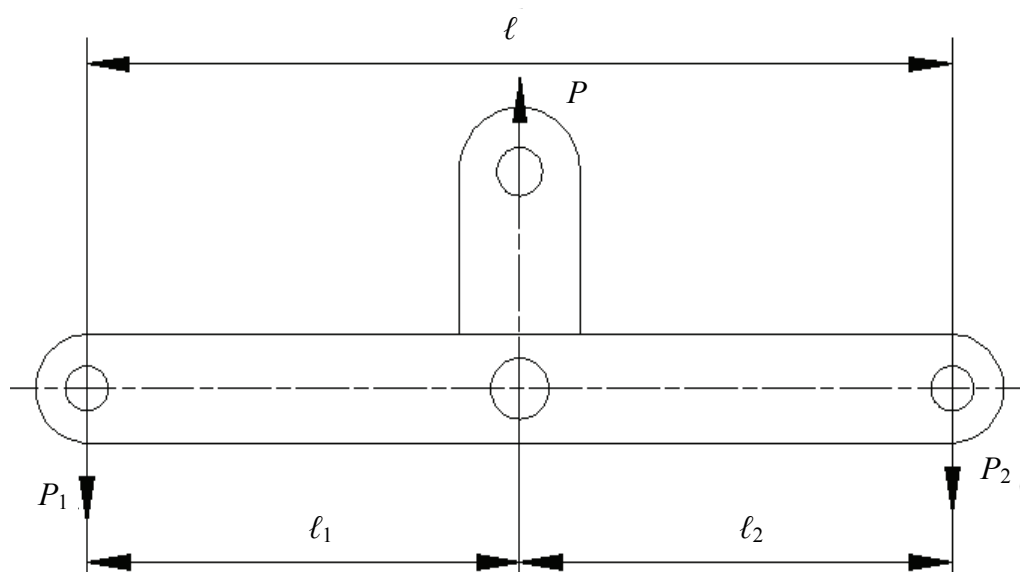


Рис. 2.19. Схема усилий, действующих на равноплечую траверсу

Допустимое отклонение каната от плоскости ролика не должно превышать 6° , расстояние от барабана лебедки до отводного ролика должно быть не менее 20 диаметров барабана. При отсутствии блоков нужной грузоподъемности применяют сдвоенные полиспасты с приводом от одной лебедки либо от двух. Усилие в канате лебедки определяют из условия половины поднимаемого груза (рис. 2.20).

Число зажимов не менее 3: $l > d_0$, $d_3 \approx 0,6d_0$.

Такелажные работы широко применяют при монтаже горной техники, в том числе при их установке на фундаментах.

Монтаж машин на фундаментах

Фундаменты в зависимости от их назначения имеют различные конструкции.

В зависимости от конструкции фундаменты делят на **массивные** и **рамные**.

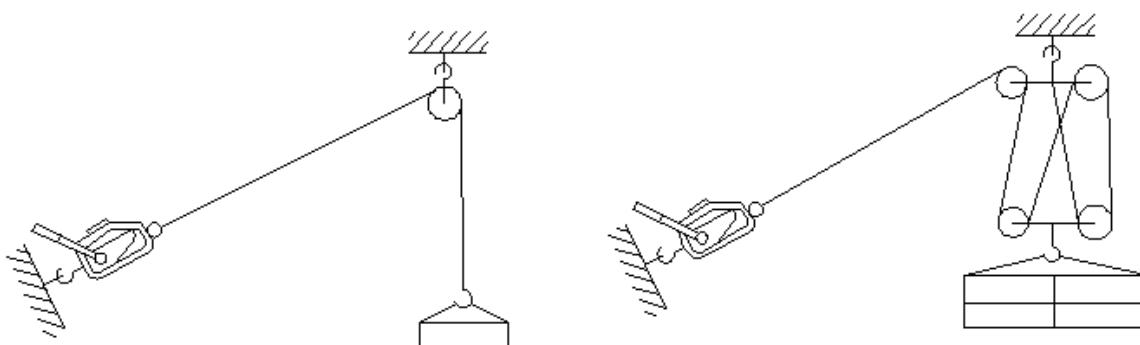


Рис. 2.20. Схема подъема груза с помощью лебедки

Массивные фундаменты выполняют из бетона или железобетона. Они могут быть выполнены подвального и бесподвального типа. Чаще всего их сооружают под машины с кривошипно-шатунным механизмом, кузнечнопрессовое, прокатное оборудование, под дробилки, компрессоры и электродвигатели.

Рамные фундаменты выполняют из жестких многостоечных рам, стойки которых устанавливают в гнезда опорной плиты и жестко заделывают в них. Рамные фундаменты устанавливают под шаровые и стержневые мельницы и т. д.

По способу монтажа фундаменты делят на **сборные, сборномонолитные и монолитные**.

Для крепления машин к фундаментам применяют анкерные болты, дюбели и патроны. В основном для установки машин на фундаменты используют анкерные болты, которые делят на глухие, съемные и устанавливаемые в готовые фундаменты.

Наиболее распространенные анкерные болты представлены на рис. 2.21.

Для монтажа конкретной машины на фундамент выполняют расчет фундаментных болтов.

Расчет фундаментных болтов

Болты выполняют, как правило, из углеродистых и низколегированных сталей марок В СтЗпс6, В СтЗсп5, ст20, 25, 30, 35, 09Г2С, 10Г2С1 – для болтов диаметром М56-М140.

1. Допустимое напряжение на разрыв под действием динамических нагрузок вычисляют по формуле

$$\sigma_{p.g} = 0,278 \cdot \frac{\alpha}{\mu} \cdot \sigma_p, \quad (2.24)$$

где σ_p – расчетное допускаемое напряжение для стали, из которой выполнен болт, МПа; α – коэффициент, учитывающий число циклов динамического нагружения (табл. 2.2); μ – коэффициент, учитывающий диаметр резьбы.

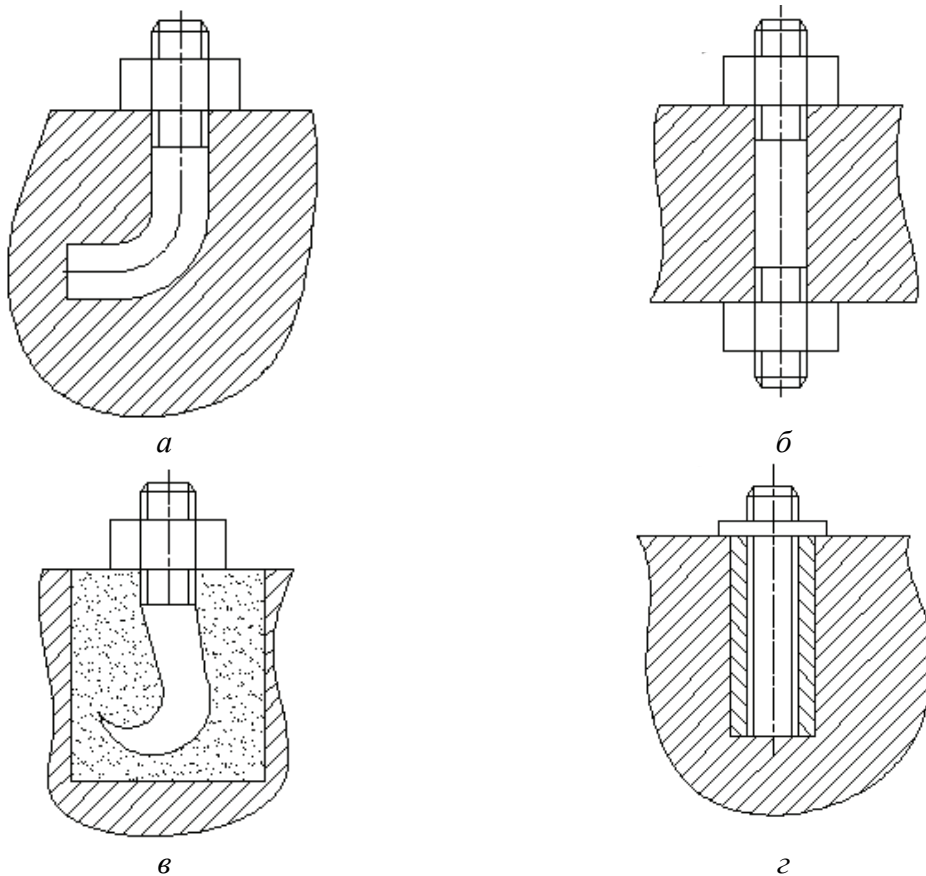


Рис. 2.21. Средства крепления машин к фундаментам: *а* – залитые в массив фундамента; *б* – съемные; *в* – залитые в колодцах; *г* – устанавливаемые в готовые фундамента

Таблица 2.2

Зависимость коэффициента α от числа циклов динамического нагружения

Число циклов	$5 \cdot 10^4$	$20 \cdot 10^4$	$80 \cdot 10^4$	$200 \cdot 10^4$	$>500 \cdot 10^4$
α	3,15	2,25	1,57	1,25	1,0

Предварительно выбирают d , а по нему μ (табл. 2.3).

Зависимость коэффициента μ от диаметра резьбы d

D	M10– M12	M16	M20– M24	M30– M36	M42– M48	M56– M72	M80– M90	M100– M125	M140– и >
M	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5

2. Глубина заделки болтов в фундаменте составляет:

$H = 25d$ – для болтов со сгибом;

$H = 15d$ – с анкерной плитой и съемные;

$H = 10d$ – для конических на цементном растворе и гладких на эпоксидном клее;

$H = 8d$ – для самоанкерующихся болтов.

3. Площадь сечения по резьбе определяют по формуле

$$F = \frac{P_{з.в} + \lambda \cdot P_{н}}{100 \cdot \sigma_p}, \text{ см}^2, \quad (2.25)$$

где $P_{з.в}$ – усилие предварительной затяжки болта для вертикальных нагрузок, Н; $\lambda = 0,5-0,6$ – коэффициент нагрузки; $P_{н}$ – расчетная вертикальная нагрузка на болт, Н.

4. Расчетная вертикальная нагрузка на болт равна

$$P_{н} = \frac{P_0 - G_M}{n} + \frac{My_1}{\sum_{i=1}^n y_i^2}, \text{ Н}, \quad (2.26)$$

где P_0 – вертикальная открывающая нагрузка, действующая на фундамент от машины, Н; G_M – вес машины, Н; M – опрокидывающий момент, Нм; n – число фундаментных болтов; y_1 – расстояние от центра тяжести машины до оси наиболее удаленного болта в растянутой зоне стыка, м; y_i – расстояние от оси поворота до i -го болта в растянутой зоне стыка, м.

5. По расчетному сечению болтов выбирают диаметр резьбы. Его находят по таблице 2.4.

6. Расчет сечения болтов при динамических нагрузках производят по формуле

$$F_B = \frac{\lambda \cdot P_{н}}{200 \cdot \sigma_{p.g}}, \text{ см}^2. \quad (2.27)$$

Болты удовлетворяют условию необходимой выносливости, если:

$$F_B \leq F. \quad (2.28)$$

Зависимость диаметра резьбы от сечения фундаментных болтов

d	$F, \text{см}^2$	D	$F, \text{см}^2$	d	$F, \text{см}^2$
M10	0,523	M36	7,59	M80×6	40,87
M12	0,768	M42	10,34	M90×6	53,68
M16	1,44	M48	13,80	M100×6	67,32
M20	2,25	M56	18,74	M110×6	82,67
M24	3,24	M64	25,12	M125×6	108,56
M30	5,19	M72×6	32,23	M140×6	138,01

7. Усилие предварительной затяжки болтов при вертикальной нагрузке:

$$P_{з.в} = K_{ст} \cdot (1 - \lambda) \cdot P_H, \text{ Н}, \quad (2.29)$$

где $K_{ст}$ – коэффициент стабильности затяжки; $K_{ст} = 1,3–1,5$ – для болтов с отгибом и анкерной плитой; $K_{ст} = 1,8–2,0$ – при динамических нагрузках; $K_{ст} = 2,0–2,2$ – для болтов на эпоксидном клее, конических и самоанкерующихся при статических нагрузках; $K_{ст} = 2,5–3,0$ – то же при динамических нагрузках.

8. Усилие предварительной затяжки для восприятия горизонтальных нагрузок

$$P_{з.г} = K_{сн} \frac{Q - G \cdot f}{n \cdot f}, \text{ Н}, \quad (2.30)$$

где Q – расчетная сдвигающая нагрузка, действующая в области стыка, Н; f – коэффициент трения при бесподкладочном способе установки, $f = 0,3$; $f = 0,2$ – с подкладками.

9. Суммарное усилие предварительной затяжки в случае вертикальных и горизонтальных усилий

$$P_{з.сум} = P_{з.в} + P_{з.г}, \text{ Н}. \quad (2.31)$$

В этом случае $P_{з.сум}$ задействуют в формуле (2.25).

10. Крутящий момент, прикладываемый к гайке равен

$$M_{к.з} = P_{з.сум} \cdot \xi, \text{ Н}, \quad (2.32)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от диаметра резьбы (табл. 2.5).

Зависимость коэффициента ξ от диаметра

d	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M42	M48
$\xi \cdot 10^{-2}$	0,2	0,24	0,32	0,44	0,58	0,75	1,1	1,2
d	M56	M64	M72	M80	M90	M100	M100	–
$\xi \cdot 10^{-2}$	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8	–

11. Угол поворота гайки после начала упругой деформации для достижения необходимого усилия предварительной затяжки болта вычисляется по формуле

$$\varphi_{п.з} = 360^\circ \frac{14 \cdot P_{з.сум} \cdot d}{100 \cdot E \cdot F \cdot S}, \text{ град}, \quad (2.33)$$

где S – шаг резьбы, см; E – модуль упругости материала болта, МПа, $E = 2 \cdot 10^5$.

Сдача фундаментов может осуществляться при их полной готовности.

1. До сдачи фундаментов необходимо закончить прокладку подземных коммуникаций, обратную засыпку, планировку и уплотнение грунта.

2. На фундаменты должны быть нанесены основные и, если нужно, вспомогательные оси, а также высотные отметки. Для монтажа машин, требующих высокой точности установки, оси наносят на металлические плашки или скобы, а высотные отметки передают на реперы, заложенные в фундамент при бетонировании (рис. 2.22).

Для отдельно монтируемых машин, а также машин, не требующих точной установки, для которых допускается смещение в плане и по высоте на 20–30 мм, оси и высотные отметки могут быть нанесены непосредственно на бетон фундамента или стены.

3. Перед сдачей под монтаж фундамент освобождают от разборно-переставной опалубки и тщательно очищают.

4. Анкерные болты снабжают шайбами и гайками, резьбу смазывают смазкой.

5. Приемка фундамента заключается в проверке соответствия их размеров проектным, высотных отметок. Проверяют также соответствие расположения закладных деталей проектным.

Допустимые отклонения фактических размеров от проектных не должны превышать следующих параметров:

- для привязочных размеров продольных и поперечных осей – +20 мм;
- для высотных отметок поверхности фундамента (без учета подливки) – 30 мм;

- для осей анкерных болтов в плане – +5 мм;
- для глубины колодцев под анкерные болты – +50 мм;
- для отметки верхних торцов анкерных болтов – +20 мм.

6. Сдача-приемка фундамента оформляется актом, который подписывают представители строителей, монтажников и заказчиков.

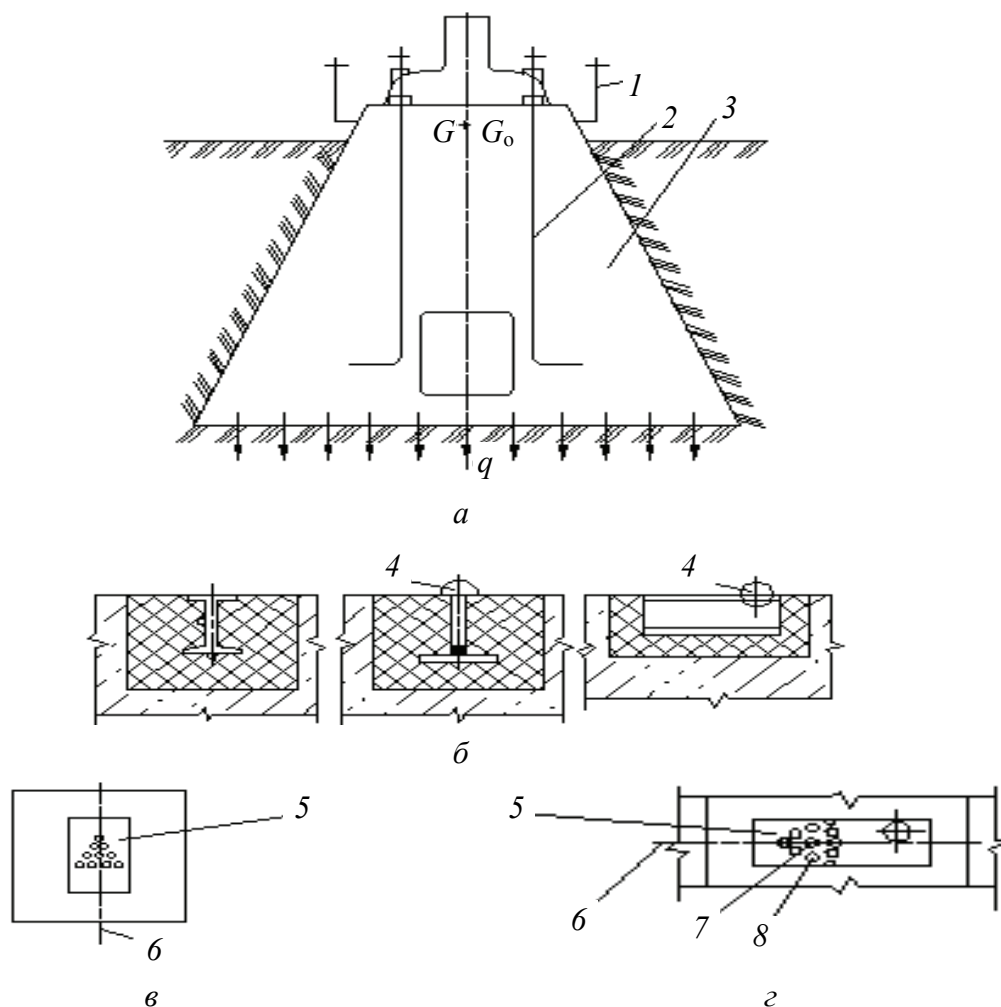


Рис. 2.22. Пример устройства фундамента: *a* – упрощенная схема массивного фундамента; *б* – отдельный репер; *в* – отдельная плашка; *z* – совмещенная установка плашки и репера; *1* – накладные детали; *2* – закладные детали; *3* – тело фундамента; *4* – репер; *5* – плашка; *6* – монтажная ось; *7* – точка кернения; *8* – треугольная рамка

К акту прилагают:

- исполнительные схемы расположения фундаментов, анкерных болтов в сопоставлении с основными и привязанными размерами в плане и по высоте;

– схемы расположения геодезических знаков – плашек, реперов, скоб, заложенных в фундамент;

– акт о качестве выполненной виброизоляции (для машин, работающих при динамических нагрузках).

При установке оборудования на фундамент рассчитывают его размеры и проверяют грунт на несущую способность, а также фундамент на резонанс и опрокидывание.

Расчет и проверка фундамента

От качественной установки оборудования на фундамент в значительной степени зависит его дальнейшая эксплуатация. Неправильно заложенный фундамент часто становится причиной преждевременной порчи машины.

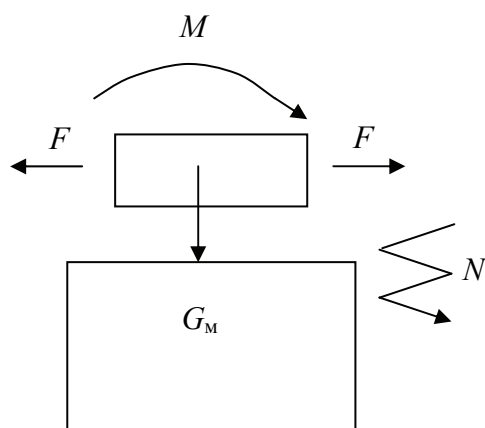


Рис. 2.23. Силы, действующие на фундамент: G_M – вес машины; F – горизонтально действующие силы; M – опрокидывающий момент; N – вибрация

Во время работы на фундамент действуют сила тяжести машины, силы и моменты сил, возникающие в процессе работы машины. Особенно отрицательно влияют на фундамент силы, действующие в горизонтальной плоскости относительно установки фундамента (рис. 2.23).

При укладке фундамента необходимо выяснить физико-механические свойства пород в его основании.

Насыпной грунт, особенно состоящий из глины, песка, основанием фундамента служить не может.

Проверка грунта на несущую способность производится следующим образом.

В месте устройства фундамента проводят бурение грунта, как правило, на глубину не менее чем на 1 м ниже проектной глубины его заложения.

Допустимое давление на грунт со стороны фундамента должно быть

$$P_r \geq P_\phi,$$

где $P_\phi = G_c + G_\phi + G_M / F$; F – площадь основания фундамента, m^2 ; G_ϕ – вес фундамента, Н; G_M – вес машины, установленной на фундаменте; G_c – результат сил действующих на фундамент со стороны работы узлов машины.

Допустимые давления на грунт при заложении фундамента на глубине до 4 м от поверхности земли не должны превышать следующих значений:

Скалистый, каменистый грунт, гравий	0,6 МПа
Плотный глинистый грунт или крупный плотный песок	0,4 МПа
Пылевидный сухой, малоуплотненный песок	0,2 МПа
Слабый глинистый грунт	0,1 МПа

Если нет данных и физико-механических свойствах породы, ее проверяют при статической нагрузке.

Глубина заложения фундамента в грунт зависит от характера грунта, глубины его промерзания, вида монтируемой машины. Фундамент своим основанием должен лежать на плотной основной породе. Обычно глубину заложения фундамента берут не менее 1,0–1,5 м.

Если почва имеет плотный скальный грунт, то специальный фундамент может не выполняться. В этом случае можно пробурить скважины в соответствии с чертежами монтажа машины, установить в них анкерные болты и залить их бетоном.

Определение размеров фундамента производят следующим образом.

При отсутствии чертежей на устройство фундамента, а также в случае их изготовления производят расчеты размеров фундамента.

Вес фундамента определяют по формуле [6]

$$G_{\phi} = a \cdot G_{\text{м}}, \text{ Н}, \quad (2.35)$$

где a – коэффициент нагрузки на фундамент, который зависит от типа машины.

Для машин, создающих горизонтальные усилия, действующие на фундамент (поршневые насосы), $a = 2–4,5$ в зависимости от скорости перемещения движущихся частей машины.

Для машин, создающих вертикальные нагрузки на фундамент, $a = 1,4–3,0$. Для электрических машин без торможения и реверсирования $a = 10$, для электрических машин с торможением и частным реверсированием, а также при токообразующей нагрузке $a = 20$. Для насосов, вентиляторов $a = 10$. $G_{\text{м}}$ – вес машины, Н.

Объем фундамента в грунте вычисляется по формуле

$$V_r = \frac{G_{\phi}}{\gamma}, \text{ м}^3, \quad (2.36)$$

где γ – удельный вес фундамента, Н/м³.

Для кирпичного фундамента $\gamma = 18\,000$ Н/м³.

Для бетонного $\gamma = 20\,000$ Н/м³.

Высота фундамента определяется по выражению

$$H = H_r + \ell,$$

или

$$H = \frac{V_r}{a \cdot b} + \ell, \text{ м}, \quad (2.37)$$

где a , b – соответственно, длина и ширина фундамента, м; ℓ – размер дополнительной высоты, м.

При наличии у машины фундаментальной плиты $\ell = 0,15\text{--}0,2$ м. При устройстве специальных ниш для клиньев фундаментных болтов $\ell = 0,4$ м. При установке машины в помещении $\ell = 0,15\text{--}0,3$ м.

Общий объем фундамента равен

$$V_o = V_r + a \cdot b \cdot \ell, \text{ м}. \quad (2.38)$$

Проверка фундамента на резонанс

Проверку фундамента на резонанс осуществляют следующим образом.

Фундамент под действием сил, образующихся в процессе работы машины, подвергается колебаниям, которые могут войти в резонанс с колебаниями машины. Особенно опасным фактором служит некачественная балансировка машины. В связи с этим масса фундамента должна быть такой, при которой частота собственных колебаний, передаваемых машиной, более чем в 2 раза больше частоты вращения движущихся частей машины.

Частота собственных вертикальных колебаний равна

$$n_b = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{c \cdot F \cdot g}{G_\phi + m}}, \text{ мин}^{-1}, \quad (2.39)$$

где c – коэффициент упругого равномерного сжатия фундамента (принимают в два раза более значения P_ϕ), $c \geq 2 \cdot P_\phi$, или $c \geq (0,2\text{--}1,2) \cdot 10^6$, Па; F – площадь основания фундамента, м²; g – ускорение силы тяжести, м/с²; $G_\phi + m$ – общий вес фундамента и машины, Н.

Частота вращательных колебаний равна

$$n_{вр} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot J}{\theta}}, \text{ мин}^{-1}, \quad (2.40)$$

где J – момент инерции площади основания фундамента, м⁴; θ – момент массы фундамента и машины относительно оси, м².

Для устранения резонанса должны выдерживаться следующие зависимости:

$$n_{\text{в}} > 2 \cdot n; \quad n_{\text{вр}} > 2 \cdot n, \quad (2.41)$$

где n – частота вращения движущихся частей машины, мин^{-1} .

Если определить аналитически частоту резонансных колебаний трудно, то проверку фундамента на резонанс осуществляют упрощенным способом.

На фундамент устанавливают небольшой электродвигатель постоянного тока с регулируемой частотой вращения. Его якорь искусственно делают неуравновешенным, прикрепляя к нему добавочный груз, и включают с максимальной частотой вращения. Целесообразнее частоту вращения якоря электродвигателя выбрать близкой к частоте вращения основных узлов монтируемой машины. Если при вращении якоря возникают колебания фундамента, то причиной является резонанс.

Для уменьшения резонансной частоты колебаний фундамента необходимо улучшить качество балансировки машины, увеличить массу фундамента (укрепить сваями, выполнить дополнительную подливку бетоном и т. д.) либо заложить упругие материалы между подушкой и массивом фундамента.

Проверку фундамента на опрокидывание производят следующим образом.

После того, как намечены все основные размеры фундамента, его проверяют на опрокидывание. Это в основном касается фундаментов под электродвигатели, редукторы, другие машины, связанные ременной передачей, под натяжные и приводные станции конвейерных линий и др.

В масштабе вычерчивают фундамент (рис. 2.24), намечают на чертеже оси высоты L центра тяжести машины, направление натяжения ремня – ОК. По линии ОК откладывают в определенном масштабе силу P , сдвигающую машину относительно фундамента, по вертикали – общий вес фундамента и машины $G_{\text{ф+м}}$. По правилу параллелограмма складывают силы P и $G_{\text{ф+м}}$, находят результирующую силу R . Ее направление откладывают на линию фундамента. Если эта линия проходит через среднюю треть фундамента, то машина установлена устойчиво и опасности опрокидывания ее и фундамента нет.

Подготовив основание под фундамент, приступают к его укладке. Монолитный бетонный фундамент обычно укладывают без перерыва, в один прием. В места, где должны быть фундаментные болты, закладывают деревянные брусья. Анкерные плиты закладывают в кладку при заливке бетона или вставляют в остальные в период кладки колодцев, которые, после того как в них помещены плиты, заливают бетоном. В необходимых

случаях для доступа к фундаментным болтам и анкерным плитам в фундаменте устраивают специальные колодцы.

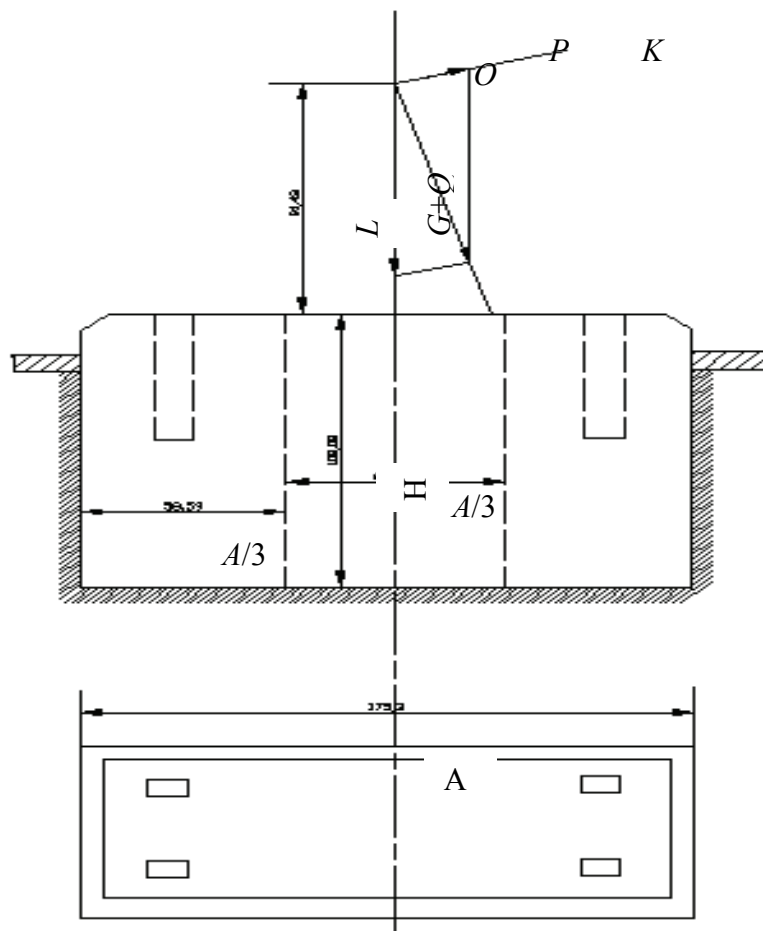


Рис. 2.24. Проверка фундамента на опрокидывание

Производство монтажных работ [5]

Подготовительный период является одним из главных во всем монтажном цикле. От него в значительной степени зависят продолжительность, трудоемкость и качество монтажа.

Подготовительные работы включают в себя следующее:

1. Разработку графика поставки технологического и подъемно-транспортного оборудования для производства монтажных работ.
2. Выработку предложений по выполнению строительно-монтажных работ цеха (площадки).
3. Монтаж подъемно-транспортного оборудования в соответствии с графиком поставки.
4. Устройство монтажной площадки (примерная схема монтажной площадки представлена на рис. 2.25).

5. Устройство электроосвещения монтажной площадки.
6. Разработку и передачу технической документации на монтаж.

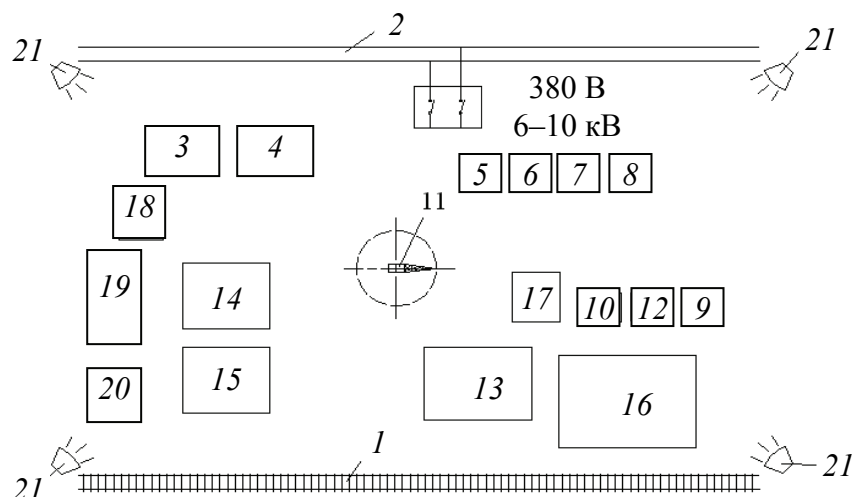


Рис. 2.25. Устройство монтажной площадки: 1 – ж/д путь; 2 – электрическая сеть; 3 – управление руководителя монтажных работ; 4 – управление генерального подрядчика; 5 – РММ; 6 – инструментально-складские помещения; 7 – гардеробная и душевая; 8 – столовая; 9 – склад пиломатериалов; 10 – пожарный водоём; 11 – грузоподъемное оборудование; 12 – бытовые помещения; 13 – площадка для сборки машины; 14 – площадка для хранения электро-, гидро-, пневмооборудования; 15, 16, 17 – площадки для размещения деталей, узлов и механизмов, 18 – сварочный пост; 19 – компрессорная станция; 20 – склад для вспомогательного грузоподъемного и такелажного оборудования; 21 – осветительные средства

Поставка, хранение, подготовка оборудования и передача к монтажу

Габаритное оборудование поставляют в собранном виде, а крупное – укрупненными блоками. В первую очередь, в соответствии с графиком, поставляют подъемно-транспортное оборудование для производства монтажных работ.

В комплект поставки входит следующая техническая документация: паспорт, формуляры с результатами контрольной сборки и испытаний, маркировочные ведомости, определяющие порядок сборки и испытаний, сопроводительно-транспортные документы с указанием наименования и количества отгруженного оборудования.

При поступлении оборудования проверяют:

- техническую документацию;
- комплектность;
- исправность;
- наличие заводских пломб, пробок и заглушек.

При обнаружении недостатков заказчик составляет коммерческий акт для предъявления рекламации заводу-изготовителю.

По способу хранения оборудование делится на четыре группы:

1-я группа. Оборудование, нечувствительное к атмосферным осадкам и температурным колебаниям. Его можно хранить на открытых площадках. К этой группе относятся металлоконструкции, трубопроводы, необработанные детали.

2-я группа. Оборудование, нечувствительное к атмосферным осадкам и нечувствительное к температурным колебаниям. Его хранят в полузакрытых складах. Это базовые детали, узлы с подшипниками скольжения, машины и механизмы, не имеющие встроенного электрооборудования.

3-я группа. Оборудование, чувствительное к резким температурным колебаниям (канаты, пневмо-гидро-цилиндры, детали с обработанными поверхностями). Оборудование хранят в закрытых помещениях, часто не утепленных.

4-я группа. Оборудование, чувствительное к осадкам и перепадам температуры (подшипники качения и жидкостного трения, конвейерные резиноканавные ленты, тормозные системы, механизмы со встроенным электрооборудованием). Его хранят в закрытых утепленных складах.

Хранят оборудование, как правило, в заводской упаковке, обеспечивая к нему доступ для периодического осмотра и контроля.

В процессе подготовки оборудования к монтажу оно подвергается предмонтажной ревизии и укрупненной сборке. Во время ревизии производят расконсервацию оборудования, продувку деталей и отверстий сжатым воздухом. Здесь же устраняют выявленные дефекты.

Расконсервацию выполняют продувкой паром либо сухим горячим воздухом с последующей промывкой горячим маслом при температуре 70–80 °С. Часто используют погружение в промышленное масло 20, нагретое до 150 °С.

Места, подвергшиеся коррозии, удаляют металлической щеткой либо специальными пастами типа «Целлогель». Очищенные поверхности смазывают.

Контрольную сборку деталей проводят с целью проверки правильности взаимного сопряжения и расположения деталей. При необходимости выполняют пригоночные работы.

При укрупненной сборке подготавливают монтажные узлы и блоки, что позволяет сократить продолжительность и повысить качество монтажа.

Передача оборудования производится в соответствии с графиком и заявками монтажной организации. Вместе с оборудованием передается также и техническая документация на монтаж.

При передаче оборудования в монтаж проверяют:

- соответствие оборудования проекту;
- выполнение заводом-изготовителем контрольной сборки, обкатки, стендовых и других испытаний;
- комплектность оборудования;
- отсутствие повреждений и дефектов, сохранность защитных покрытий;
- комплектность технической документации заводов-изготовителей, необходимой для производства монтажных работ.

При обнаружении крупных дефектов составляется соответствующий акт с привлечением представителя завода-изготовителя.

Приемку оборудования оформляют актом, после подписания которого ответственность за сохранность оборудования возлагается на монтажную организацию до сдачи его в эксплуатацию.

Для производства монтажных работ разрабатывается следующая техническая документация:

1. Документация центральной (головной) части проектной организации. В нее входят строительный генеральный план (стройгенплан) сооружаемого объекта с разделением его на участки строительства, с указанием подъездных путей, план расположения оборудования объекта; чертежи фундаментов и несущих металлоконструкций; сметы на монтаж оборудования.

2. Документация заводов-изготовителей, которую заказчик передает монтажной организации. В нее входят спецификации, комплектовочные ведомости, сборочные чертежи, схемы разделения оборудования на поставочные блоки, маркировочные схемы, схемы строповки, технические условия, заводские инструкции по монтажу, технические паспорта, акты ОТК заводов-изготовителей на контрольную сборку и испытания.

3. Проект производства работ (ППР), разрабатываемый специализированной проектной монтажной организацией или проектным подразделением монтажного треста. В состав ППР входят пояснительная записка с характеристикой объекта, указаниями о порядке испытания, контроле качества монтажных работ и техники безопасности; ведомости объемов монтажных работ в стоимостном и натуральном выражениях; монтажный генплан с указанием всех объектов, размещаемых на монтажной площадке, схема геодезического обоснования монтажа, технологические карты на монтаж, рабочие чертежи необходимой монтажной оснастки, графики на производство работ, движения рабочей силы, работы механизмов, подачи в монтаж оборудования, ведомости необходимого монтажного оборудования; материалов и оснастки.

Подготовительные работы для монтажа

Подготовительные работы включают геодезическое обоснование монтажа.

Геодезическим обоснованием монтажа называется система осей и высотных отметок, выполненная в натуре с помощью геодезических знаков в месте монтажа и нанесенная на специальный чертеж, который называется схемой геодезического обоснования монтажа.

Геодезические знаки применяют двух типов: реперы (рис. 2.26, *а*) для выверки оборудования по высоте и плашки (рис. 2.26, *б, в*) для фиксации продольных и поперечных осей.

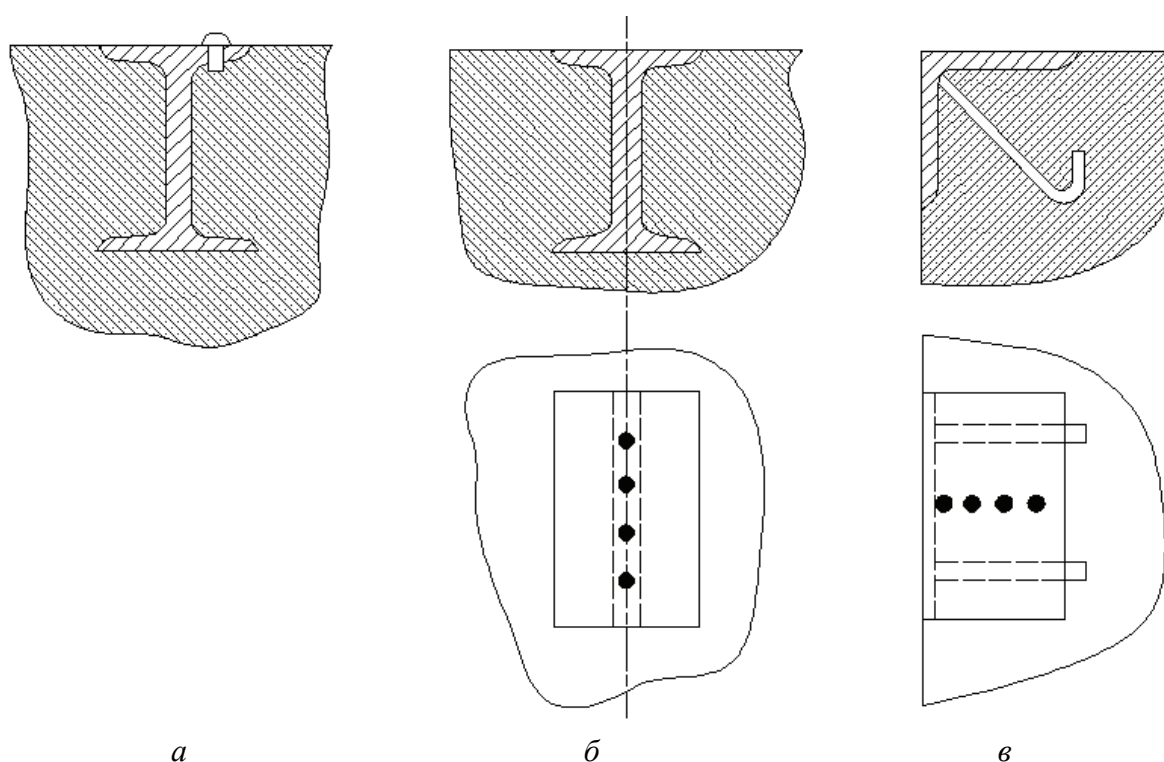


Рис. 2.26. Виды геодезических знаков, *а* – репер; *б, в* – плашки

Репер фиксирует абсолютную высоту заданной точки над уровнем моря. На практике для установки оборудования пользуются условными отметками. За нулевую отметку обычно принимают уровень поверхности чистового пола первого этажа здания. Точки, расположенные выше этого уровня, имеют положительные отметки, ниже – отрицательные.

Реперы делят на контрольные и рабочие. Контрольные реперы предназначены для проверки рабочих реперов. Их располагают за пределами здания. Отметки контрольных реперов проверяют по отметкам ближайше-

го пункта государственной высотной геодезической опоры. Рабочие реперы выполняют в виде заклепки на двутавре, вмонтированном в фундамент.

При монтаже фиксируют контрольные и рабочие оси с помощью струн, нитей. Контрольные оси обычно совмещают с осями колонн здания и выверяют относительно пунктов государственной плановой геодезической опоры. Рабочие оси выверяют по контрольным. В качестве основной продольной рабочей оси принимают технологическую ось агрегата, а в качестве поперечных осей – оси основных его машин.

Монтаж осуществляют следующими методами: последовательным, параллельным, поточным, комплексно-узловым (рис. 2.27).

При последовательном монтаже каждый следующий агрегат монтируется после предыдущего. Недостаток метода – удлинение срока монтажа:

$$T = \sum T_i m_i.$$

Достоинство – не требуется мощного грузоподъемного оборудования.

При параллельном методе агрегат монтируется одновременно. Тогда $T = T_{ц}$.

В том случае, когда из собранных в отдельности агрегатов в дальнейшем собирают машину, метод монтажа называют блочным.

Его недостатками является то, что он требует больших затрат материально-технических ресурсов, нуждается (при блочном монтаже) в более мощном грузоподъемном оборудовании. Достоинство заключается в сокращении времени монтажа.

Поточный метод совмещает последовательный и параллельный. Как правило, однородные операции монтажа на отдельных агрегатах осуществляют последовательно, а разнородные – параллельно.

Комплексно-узловой метод организации монтажа предусматривает деление пускового комплекса на технологические, энергетические и подсобно-вспомогательные узлы, которые монтируют и сдают поочередно как самостоятельную единицу.

В процессе монтажа производят базирование машины.

Под базированием понимают придание машине или узлу требуемого положения относительно выбранной системы координат. Относительно базовой детали или узла ориентируют другие детали или узлы.

Установка и выверка базовых узлов – это совмещение на заданной высотной отметке основных продольной и поперечной осей с соответствующими осями фундамента.

Контроль базирования осуществляется двумя основными методами: струнным и оптико-геодезическим. При традиционном струнном методе оси фундамента обозначаются струнами диаметром 0,3–0,5 мм.

Преимущество оптико-геодезического метода базирования заключается в том, что вместо струн и отвесов используют оптические оси, создаваемые высокоточными оптическими теодолитами.

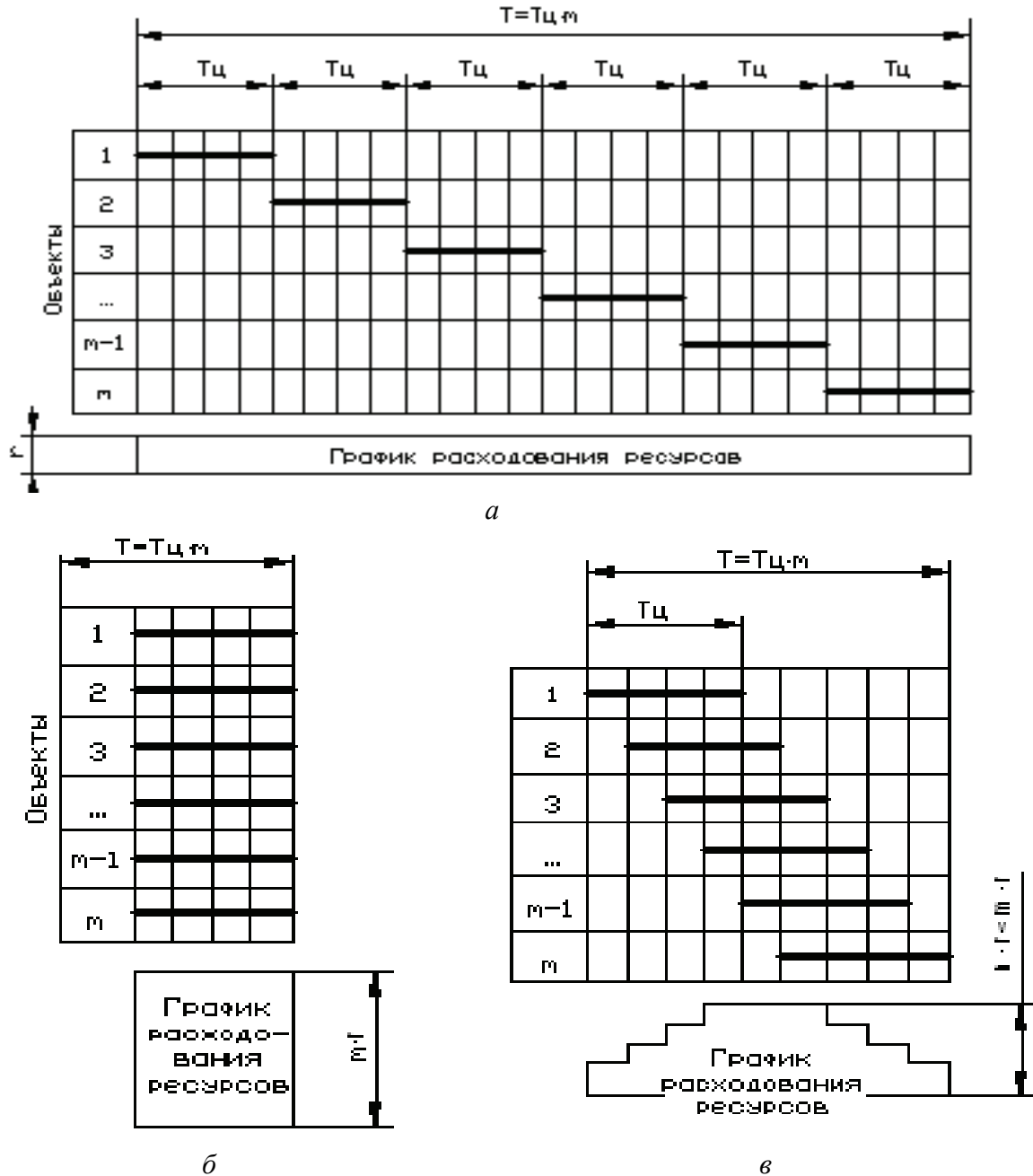


Рис. 2.27. Схема организации монтажа: а – последовательная; б – параллельная; в – поточная

В монтажных геодезических приборах наибольшее применение находят газовые (гелий-неоновые) лазеры. Примерные схемы применения ла-

зерных приборов при выверке технологического оборудования представлены на рис. 2.28.

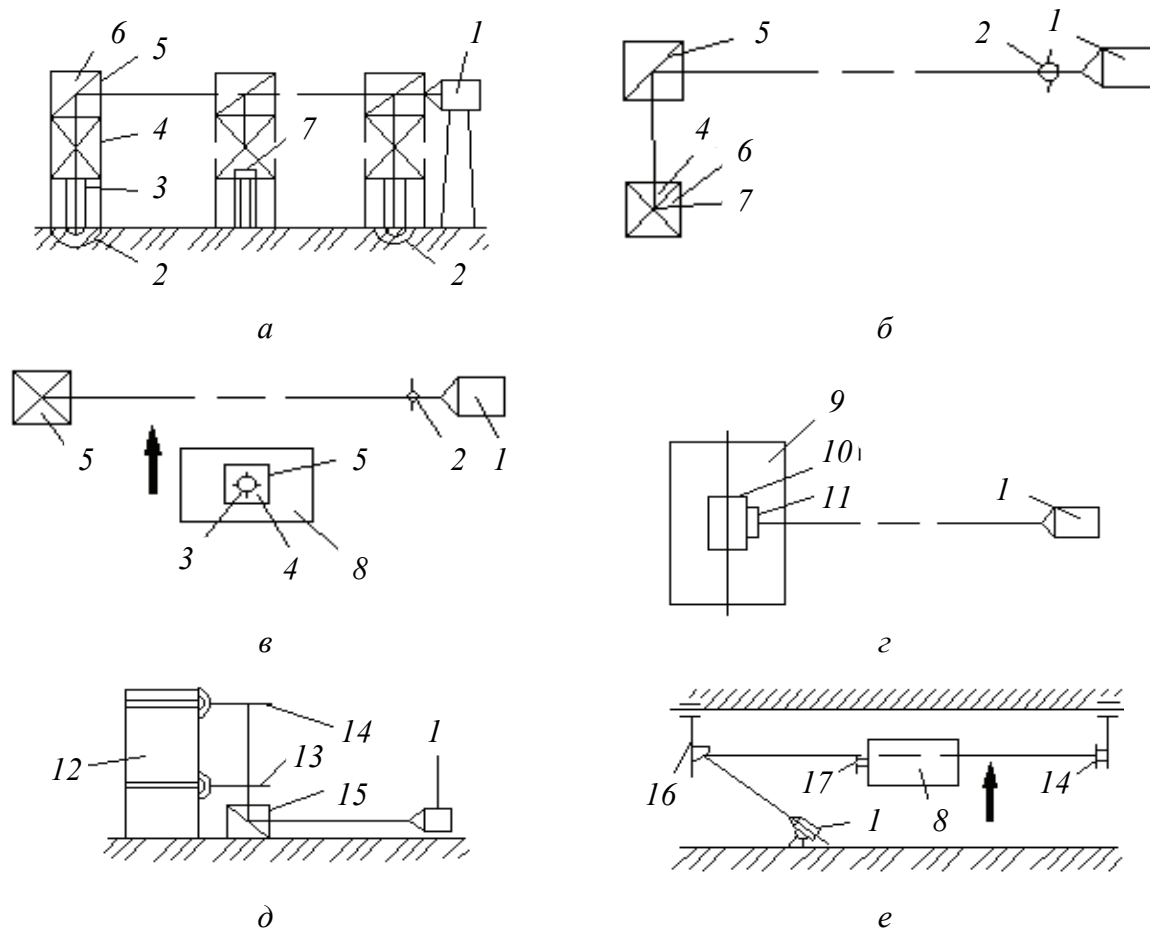


Рис. 2.28. Схемы применения лазерных приборов при выверке технологического оборудования: *a* – закрепление створа и разбивка продольных осей; *б* – разбивка поперечных осей; *в* – установка оборудования в створе; *г* – выверка перпендикулярности валов; *д* – выверка оборудования колонного типа; *е* – закрепление створа на высоте и размещение в нем оборудования; 1 – источник лазерного луча; 2 – точка кернения; 3 – приемник луча; 4 – окуляр; 5, 15 – пентапризмы; 6 – фотоэлектрическая марка; 7 – устройство для кернения; 8 – элемент оборудования; 9 – выверяемый вал; 10 – призма; 11 – зеркало; 12 – выверяемый аппарат колонного типа; 13 – диафрагма; 14, 17 – марки; 16 – кронштейн

Контроль качества установки и выверки оборудования осуществляют с помощью электронного уровня (с точностью измерения 0,001 мм/м), гидростатического уровня, который позволяет установить тела длиной до 20 м, отстоящие друг от друга на расстоянии 20 м. Для измерения значительных линейных размеров применяют высокоточные светодальномеры и лазер-

ные дальномеры. Дальномером фирмы «Карл Цейс-Йена» (Германия) можно измерять расстояние до 4000 м с погрешностью 1 мм. Встроенный микропроцессор учитывает время возврата сигнала и на цифровом табло показывает величину расстояния.

2.2. Основные требования безопасной эксплуатации горной техники

2.2.1. Общие положения

Находящееся в работе горное оборудование должно быть в исправном состоянии и снабжено действующими сигнальными устройствами, тормозами, ограждениями доступных движущихся частей и рабочих площадок, противопожарными средствами, иметь освещение, комплект исправного инструмента и необходимую контрольно-измерительную аппаратуру, а также исправно действующую защиту от переподъема [5].

Исправность машин ежемесячно проверяет машинист, еженедельно механик участка и ежемесячно главный механик карьера или его заместитель (или другое назначенное лицо). Результаты проверки должны быть записаны в журнал. Запрещается работа на неисправных машинах и механизмах.

Транспортирование машин тракторами и бульдозерами разрешается только с применением жесткой сцепки и при осуществлении специально разработанных мероприятий, обеспечивающих безопасность, в соответствии с инструкцией, разработанной предприятием. Транспортирование особо тяжелых машин с применением других видов сцепки должно осуществляться по специально разработанному проекту, утвержденному главным инженером предприятия.

Запрещается производить ручную смазку машин и механизмов на ходу и использование открытого огня и паяльных ламп для разогревания масел и воды.

В случае внезапного прекращения подачи электроэнергии персонал, обслуживающий механизмы, обязан немедленно перевести пусковые устройства электродвигателей и рычаги управления в положение «стоп» (нулевое).

На горных машинах должны находиться паспорта на горные работы, утвержденные главным инженером предприятия.

Присутствие посторонних лиц в кабине и на наружных площадках экскаватора и буровом станке при их работе запрещается.

Конструктивные элементы транспортно-отвальных мостов, отвалообразователей и экскаваторов, а также их тралы и площадки должны ежедневно очищаться от горной массы и грязи.

Применение систем автоматики, телемеханики и дистанционного управления машинами и механизмами разрешается только при наличии блокировки, не допускающей подачу энергии при неисправности этих систем.

Смазочные и обтирочные материалы на горных машинах должны храниться в закрытых металлических ящиках. Хранение на горных машинах и локомотивах бензина и других легковоспламеняющихся веществ не разрешается.

2.2.2. Эксплуатация буровых станков

Буровой станок должен быть установлен на спланированной площадке уступа вне призмы обрушения и при бурении первого ряда расположен так, чтобы гусеницы станка находились от бровки уступа не менее чем на 2 м, а его продольная ось была перпендикулярна бровке уступа.

Под домкраты станков запрещается подкладывать куски руды или породы.

При установке буровых станков шарошечного бурения на первый ряд скважин управление станками должно осуществляться дистанционно.

Перемещение бурового станка с поднятой мачтой по уступу допускается только по спланированной горизонтальной площадке.

При передвижении станка под линиями электропередачи мачта должна быть опущена.

При перегоне буровых станков мачта должна быть опущена, буровой инструмент снят или надежно закреплен.

Бурение скважин следует производить в соответствии с инструкциями, разработанными предприятиями на основании типовых для каждого способа бурения (огневого, шарошечного и др.).

Запрещается бурение скважин станками огневого (термического) бурения в горных породах, склонных к возгоранию и выделению ядовитых газов.

Каждая скважина, диаметр устья которой превышает 250 мм, после окончания бурения должна быть перекрыта.

Участки пробуренных скважин обязательно ограждают предупредительными знаками. Порядок ограждения зоны пробуренных скважин утверждает главный инженер предприятия.

Шнеки у станков вращательного бурения с немеханизированными сборкой и разборкой бурового става и очисткой устья скважины должны иметь ограждения, заблокированные с подачей электропитания на двигатель вращателя.

Запрещается работа на станках вращательного и шарошечного бурения с неисправными ограничителями переподъема бурового снаряда, при неисправном тормозе лебедки и системы пылеподавления.

При применении самовращающихся канатных замков направление свивки прядей каната и нарезка резьбовых соединений бурового инструмента должны быть противоположными.

Подъемный канат рассчитывают на максимальную нагрузку с учетом пятикратного запаса прочности. При выборе каната необходимо руководствоваться заводским актом-сертификатом. Не менее одного раза в неделю механик участка (или другое специально назначенное лицо) должен проводить наружный осмотр каната и делать запись в журнал о результатах осмотра.

Выступающие концы проволок обрезают. При наличии в подъемном канате более 10 % порванных проволок на длине шага свивки его следует заменить.

При бурении перфораторами и электросверлами ширину рабочей бермы устанавливают не менее 5 м. Подготовленные для бурения негабаритные куски укладывают устойчиво в один слой вне зоны возможного обрушения уступа.

2.2.3. Эксплуатация экскаваторов циклического действия

При передвижении экскаватора по горизонтальному пути или на подъем ведущая ось ходовой части должна находиться сзади, а при спусках с уклона – впереди.

Ковш должен быть опорожнен и находиться не выше 1 м от почвы, а стрела установлена по ходу экскаватора.

При движении шагающего экскаватора ковш также должен быть опорожнен; стрелу экскаватора устанавливают в сторону, обратную направлению движения экскаватора.

При движении экскаватора на подъем или при спусках предусматривают меры, исключающие самопроизвольное скольжение.

Перегон экскаватора производят по сигналам помощника машиниста или специально назначенного лица. При этом обеспечивают постоянную видимость между машинистом экскаватора и лицом, производящим сигналы. При перегоне шагающего экскаватора допускают передачу сигналов от помощника машиниста к машинисту через третьего члена бригады.

Экскаваторы располагают на уступе карьера или отвала на твердом, выровненном основании с уклоном, не превышающим допустимого значения, предусмотренного техническим паспортом. Во всех случаях расстоя-

ние между бортом уступа, отвала или транспортными средствами и контргрузом экскаватора должно быть не менее 1 м.

При работе экскаватора с емкостью ковша менее 5 м³ его кабина должна находиться в стороне, противоположной забою.

При погрузке экскаваторами в железнодорожные вагоны и разгрузке их на экскаваторных отвалах поездная бригада подчиняется сигналам машиниста экскаватора.

При погрузке в средства автомобильного и железнодорожного транспорта машинист экскаватора должен подавать сигналы, значение которых устанавливает администрация карьера.

Таблицу сигналов вывешивают на кузове экскаватора на видном месте. С ней знакомят машинистов локомотивов и водителей транспортных средств.

Запрещается во время работы экскаватора пребывание людей (включая и обслуживающий персонал) в зоне действия ковша.

Применяющиеся на экскаваторах канаты должны соответствовать паспорту. Стреловые канаты подлежат осмотру не реже одного раза в неделю участковым механиком. Число порванных проволок на длине шага свивки не должно превышать 15 % от их общего числа в канате. Торчащие концы оборванных проволок отрезают.

Результаты осмотра канатов, а также записи о замене их с указанием даты установки и типа вновь установленного каната заносят в специальный журнал, который хранят на экскаваторе.

Подъемные и тяговые канаты подлежат осмотру в сроки, установленные главным механиком предприятия.

В случае угрозы обрушения или оползания уступа во время работы экскаватора или при обнаружении отказавших зарядов взрывчатых материалов работу экскаватора прекращают и отгоняют его в безопасное место.

Для вывода экскаватора из забоя необходимо всегда иметь свободный проезд.

При работе экскаваторов на грунтах, не выдерживающих давления гусениц, предусматривают специальные меры, обеспечивающие устойчивое положение экскаватора.

Погрузка экскаваторами-драглайнами, в железнодорожные думпкары или другие емкости допускается при осуществлении мероприятий по безопасным методам работы, утвержденных руководством предприятия, и наличии защиты от прикосновения ковшом контактного провода тяговой сети. Сроки оснащения указанной защиты согласовывают с местными органами гортехнадзора.

При установке драглайна спаренно с другими экскаваторами или в комплексе с землеройными машинами иных типов при бестранспортной системе вскрышных работ кратчайшее расстояние между ними должно

быть не менее суммы их наибольших радиусов действия с учетом величины заброса ковша драглайна.

В случае необходимости допускается эксплуатация на более близком расстоянии по специальному паспорту безопасного производства работ, утвержденному главным инженером предприятия.

2.2.4. Эксплуатация экскаваторов непрерывного действия

Уклоны и радиусы рельсовых путей и дорог многоковшовых экскаваторов с железнодорожным, гусеничным, колесным, шагающим и шагающе-рельсовым ходовым оборудованием устанавливаются в пределах, допускаемых техническим паспортом.

Устройства контроля за изменением ширины путей и их уклонов проверяют не реже одного раза в месяц с занесением результатов в журнал.

При отсутствии или неисправности указанных устройств работа экскаватора запрещается.

Не допускается эксплуатация подэкскаваторных путей на обводненных уступах карьера при отсутствии водоотводных устройств.

Роторные экскаваторы с невыдвижными стрелами должны иметь автоматические устройства, обеспечивающие заданные скорости движения и углы поворота роторной стрелы.

Многоковшовые экскаваторы должны иметь приспособления, предохранявшие черпаковую раму, роторную стрелу и конвейер от подъема, опускания или поворота на угол, больший, чем предусмотрено конструкцией экскаваторов.

В кабине машиниста экскаватора устанавливают щит аварийной сигнализации, а также приборы контроля за скоростью и углом поворота роторной стрелы, скоростью передвижения, нагрузкой и напряжением на вводе экскаватора.

Во время работы многоковшовых экскаваторов запрещается находиться людям у загружаемых вагонов и между ними под грузочными и разгрузочными люками, конвейерами, перегрузочными устройствами и под рамой ходового механизма.

Перед началом разработки новой заходки многоковшовыми экскаваторами начальник смены или горный мастер обязан осмотреть забой и принять меры к удалению посторонних предметов (крупные корни, древесина) по всему фронту работы экскаватора на ширину заходки с учетом призмы обрушения.

Работа многоковшовых экскаваторов нижним черпанием разрешается при условии, если в разрабатываемой толще нет пород, склонных к

оползанию, и обеспечивается устойчивость откоса и рабочей площадки экскаватора.

При работе роторных экскаваторов в комплексе с конвейерами и отвалообразователями, а цепных – с конвейерами, управление должно быть заблокировано.

При ремонте и наладочных работах предусматривают ручное управление каждым механизмом в отдельности.

Все конвейерные линии многоковшовых экскаваторов или их комплексов, в которые входят транспортно-отвальные мосты, перегружатели и отвалообразователи, должны быть оборудованы устройствами в соответствии с требованиями безопасной эксплуатации ленточных конвейеров.

Кабины экскаватора должны обеспечивать машинистам обзор прилегающего участка забоя или части машины.

Места работы экскаватора должны быть оборудованы средствами связи с машинистом-руководителем экипажа.

2.2.5. Эксплуатация транспортно-отвальных мостов и отвалообразователей

Транспортно-отвальные мосты и консольные отвалообразователи (ТОМ и КОО) должны иметь исправно действующие приборы для непрерывного автоматического измерения скорости и направления ветра, заблокированные с аварийным сигналом и системой управления ходовыми механизмами, а также контрольно-измерительные приборы, концевые выключатели, сигнальные и переговорные устройства. Кроме автоматически действующих тормозных устройств ходовые механизмы должны иметь исправные ручные тормоза.

Во время ремонта запрещается одновременная разборка ручных и автоматических тормозных устройств.

Все контргрузы, расположенные вблизи дорог и проходов, должны быть ограждены для исключения прохода людей в зоны их действия.

Конвейерные линии ТОМ и КОО должны иметь с обеих сторон огражденные площадки для их обслуживания. Ширина проходов вдоль конвейеров должна быть не менее 700 мм.

Во время грозы, в туман и метель при видимости до 25 м, а также при ливневом дожде, влажном и сильном снегопаде передвижение ТОМ и КОО запрещается.

ТОМ и КОО располагают вблизи строений или горно-транспортного оборудования, в том числе и при разминовках во время движения, на расстоянии не менее 1 м. Запрещается эксплуатация ТОМ и КОО над рабо-

тающим горно-транспортным оборудованием, а также на обводненных уступах карьера.

При передвижении ТОМ и КОО с шагающим и шагацие-рельсовым ходовым оборудованием проезд машин и механизмов, а также проход людей над консолью запрещается.

Расстояние между концом отвальной консоли ТОМ и гребнем отвала должно быть не менее 3 м. У консольных ленточных отвалообразователей с периодическим перемещением эта величина должна составлять не менее 1,5 м.

При появлении признаков сползания отвала ТОМ и КОО должны быть выведены из опасной зоны.

Противопожарная защита ТОМ и КОО должна осуществляться по инструкции, утвержденной главным инженером. В инструкции указывают конкретные противопожарные мероприятия, вид и количество средств пожаротушения, места их хранения.

2.2.6. Эксплуатация средств гидромеханизации

Монтаж и реконструкцию драг и земснарядов, строительство гидротехнических сооружений, горно-подготовительные работы производят по утвержденному проекту.

По каждой драге и земснаряду составляют инструкцию по составлению планов ликвидации аварий.

Запрещается допускать к работе лиц, не ознакомленных с планом ликвидации аварии.

На каждом полигоне в соответствии с планом ликвидации аварий должен быть создан необходимый запас противоаварийного оборудования, материалов, инвентаря и инструмента.

Все люки верхней палубы понтона должны иметь водозащитные борта высотой не менее 400 мм с герметически закрывающимися крышками. Работа драги (земснаряда) с открытыми люками или незаделанными пробоинами, трещинами в понтоне запрещается.

Палубу, трапы, мостики, переходы и лестницы драги (земснаряда) устраивают из рифленого железа (или с наплавленными полосами). Они должны иметь ограждения и содержаться в чистоте.

Доступные места паропроводов на драгах (земснарядах) изолируют или ограждают.

Применяемые на драге (земснаряде) канаты должны соответствовать её паспорту. Не допускается эксплуатация счаленного и с порванными прядками каната черпаковой рамы.

Для освещения рабочих мест надпалубной части драги (земснаряда) применяют напряжение не более 220 В, для освещения понтона (внутри) –

не выше 10 В. Допустимо напряжение 127 В при условии подвески светильников на высоте не менее 2,5 м от днища понтона.

Для питания переносных ламп электрического ручного инструмента (сверла, паяльники) напряжение не должно превышать 36 В. На драгах необходимо иметь аварийное освещение (электрофонари, аккумуляторы и др.). Спускаться в понтон при отсутствии освещения запрещено.

Драги и земснаряды оборудуют двусторонней сигнализацией между драгерским помещением (рубкой) и механизмами. Для связи драгера с рабочими, обслуживающими механизмы, помимо звуковой сигнализации обязательно наличие разговорной связи.

Спуск людей в завалочный люк допускается после остановки черпаковой цепи и предварительного осмотра положения черпаков на верхнем черпаковом барабане.

Запрещается спуск людей в завалочный люк без предохранительного пояса. Выполнение работ в завалочном люке осуществляют в соответствии со специальными мероприятиями, утвержденными начальником драги.

Дороги и тропы на полигонах работающих драг (земснарядов) перекрывают, а по контурам опасной зоны рабочих канатов выставляют предупредительные знаки.

Переход или проезд через рабочие канаты допускается только с разрешения сменного драгера после принятия им соответствующих мер безопасности.

Запрещается подплывать или приближаться на плавательных средствах к маневровым канатам и кабелю без разрешения драгера.

На видных и доступных местах драги (земснаряда) по бортам монтажа и снаружи надпалубного строения равномерно размещают спасательные принадлежности (круги, спасательные жилеты) не менее чем по два комплекта на каждые 20 м длины палубы. Спасательные круги снабжают линиями длиной не менее 30 м.

Каждая драга (земснаряд) должна иметь протянутый в надводной части вокруг понтона трос, прикрепленный на такой высоте, чтобы за него мог ухватиться упавший за борт человек. На воде устанавливают не менее двух лодок с веслами, в том числе одна у понтона. На понтоне в местах прохода людей на лодку устраивают откинутые мостики-сходки с перилами и проемы с цепным ограждением.

Грузоподъемность лодки и допустимое число одновременно перевозимых людей обозначают на ее корпусе. На каждой лодке должны быть спасательные принадлежности, не менее двух багров одного запасного весла, черпака, двух фонарей. Перегружать лодку запрещено.

Электроэнергию на драгу (земснаряд) подают от берегового распределительного устройства с помощью кабеля, проложенного по почве и огражденного

предупредительными знаками, на козлах или подведенного на тросе. По воде кабель прокладывают на плотках (поплавках).

Запрещается переносить береговой кабель, находящийся под напряжением, переезжать через него без устройства специальных переездов, заваливать кабель, допускать вымерзание его в лед и грунт.

При работе драг (земснарядов), оборудованных пульпопроводом для транспортирования песков и эфелей на борт разреза, должны соблюдаться следующие требования:

а) вдоль плавучих пульпопроводов устанавливают мостики, огражденные перилами высотой не менее 1 м;

б) в темное время суток пульпопровод освещают.

Рамоподъемные лебедки на драгах (земснарядах) оборудуют двумя тормозами (рабочим и предохранительным) и защитой от переподъема черпаковой рамы с дублирующей звуковой сигнализацией, предупреждающей о начале ее переподъема. Галечные конвейеры должны иметь тросики экстренной остановки конвейера на всей его протяженности и кнопки «Стоп», установленные в головной и хвостовой частях, а сваи – концевые выключатели от переподъема. Лестницы с углом наклона более 75° и высотой свыше 3 м оборудуют ограждением тоннельного типа. Лестницы с углом наклона менее 75° должны иметь прочные перила и плоские ступеньки, исключающие скольжение. В понтоне устанавливают сигнализацию о наличии воды с выводом сигнала на пульт управления. Обязательна установка аварийных автоматически включающихся насосов для откачки воды.

На драге (земснаряде) должно находиться в рабочем состоянии противопожарное оборудование, инвентарь, предусмотренный аварийным планом.

Противопожарный водопровод от насоса прокладывают по всей драге (земснаряду) с необходимым количеством кранов для подключения пожарных рукавов, длина которых должна обеспечивать подачу струи воды к самым отдаленным местам драги (земснаряда).

Смазочные и горючие материалы, запасные части, противопожарный и спасательный инструмент хранят в специально отведенных местах на палубах драги (земснаряда).

Обслуживание черпаковой рамы и отбор проб из черпаков производят из безопасного места с прочных огражденных площадок.

Ремонтные или другие работы на черпаковой раме производят только при остановленной драге с применением предохранительных поясов, для закрепления которых протягивают трос.

При работе на льду должны соблюдаться следующие требования;

а) уборку льда производят по проекту организации работ, утвержденному главным инженером предприятия в присутствии лица технического надзора;

б) работа машин и механизмов допускается при наличии нарядов с указанием мер безопасности и после тщательной проверки толщины льда и расчета его на прочность;

в) места, где разрешается передвижение людей и транспорта по льду, обозначают указательными знаками;

г) на период уборки льда у места работы устанавливают лодку, спасательные круги с линиями не менее 30 м;

д) лица, привлеченные к льдоуборочным работам, должны быть одеты в спасательные жилеты и знать правила оказания первой помощи пострадавшим.

Людам на плавательных средствах запрещается подплывать к земснаряду со стороны всасывающего грунтопровода во время его работы.

На драге (земснаряде) устанавливают телефонную, селекторную или радиосвязь с поселком (прииском).

Для входа на драгу (земснаряд) и выхода с драги (земснаряда) устраивают откидные мостики с перилами (трапы).

Спуск трапа на берег производят в спланированных местах на борт забоя, не имевшего навесных «kozyрьков». Береговой конец трапа в опущенном состоянии должен перекрывать линию забоя не менее чем на 2 м.

Запрещается спуск и подъем трапа с людьми.

2.2.7. Эксплуатация водоотливных установок

Каждый карьер (разрез), не имеющий естественного стока поверхностных и почвенных вод, обеспечивают водоотливом. Осушение производят по специальным утвержденным в установленном порядке проектам.

Устья стволов дренажных шахт, штолен, шурфов, скважин и других выработок надежно защищают от проникновения через них в горные выработки поверхностных вод.

Автоматизация водоотливных установок в карьерах и дренажных шахтах должна обеспечивать автоматическое включение резервного насоса взамен вышедшего из строя, возможность дистанционного управления насосами и контроль за работой установки с передачей сигналов на пульт управления.

Пол камеры главного водоотлива дренажных шахт располагают на 0,5 м выше уровня головки рельсов откаточных путей в околоствольных выработках.

При главной водоотливной установке необходим водосборник. В дренажных шахтах он должен иметь два отделения.

Вместимость водосборника при открытом водоотливе рассчитывают не менее чем на трехчасовой, а при подземной – на четырехчасовой нормальный приток.

Суммарная подача рабочих насосов главной водоотливной установки должна обеспечивать в течение не менее 20 ч откачку максимально ожидаемого суточного притока воды. Установка оборудуется резервными насосами с суммарной подачей, равной 20–25 % подачи рабочих насосов. Насосы главной водоотливной установки обеспечивают одинаковый напор.

Насосная камера главного водоотлива соединяется со стволом шахты наклонным ходком, который выводят в ствол на высоте не ниже 7 м от уровня пола насосной станции.

Водоотливные установки на поверхности, а также трубопроводы в районах с отрицательной температурой следует утеплять перед зимним периодом и закрыть от возможных повреждений при производстве взрывных работ.

Трубопроводы, проложенные по поверхности, должны иметь приспособления, обеспечивающие полное освобождение их от воды.

Резервные насосы имеют суммарную производительность, равную 20–25 % суммарной производительности рабочих насосов.

Работа насосов чередуется в определенном порядке, согласно графику, утвержденному главным механиком карьера.

На насосных станциях производится учет продолжительности работы насосов и количества откаченной воды с регистрацией этих данных в специальном журнале.

Регулярно перед паводками производят контрольный замер действительной производительности насосов.

Дренажные канавы с грунтом, содержащим песок, тампонируют глиной или битумом.

При осушении карьеров скважинным способом следует контролировать в откачиваемой воде количество грунта, выносимого на поверхность, во избежание образования пустот и последующих обвалов.

При постоянных притоках воды, отличающейся повышенной кислотностью ($\text{pH} \leq 5$) или содержащей на 1 л воды свыше 100 мг серной кислоты, необходимо применять кислотоупорные насосы, трубопроводы и арматуру или защищать рабочие поверхности от коррозии.

Откачиваемые карьерные воды следует тщательно очищать в соответствии с санитарными нормами.

3. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ СМАЗКИ МАШИН

3.1. Смазочные материалы

3.1.1. Масла

Масла имеют следующие физико-механические свойства.

Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) частиц жидкости. Различают динамическую, кинематическую, удельную и условную вязкость. Динамическая вязкость численно равна касательному напряжению при градиенте скорости, равном единице. Размерность $\mu = [\text{Па} \cdot \text{с}]$.

Кинематическая вязкость ν равна отношению динамической вязкости к плотности жидкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Удельная вязкость равна отношению динамической вязкости жидкости динамической вязкости воды при 20 °С:

$$\text{УВ} = \frac{\mu}{\mu_{\text{в}}}.$$

Условная вязкость – величина, выраженная отношением времени истечения 200 мл исследуемой жидкости при данной температуре из вискозиметра Энглера ко времени истечения из этого вискозиметра 200 мл дистиллированной воды при 20 °С. Выражается она условными градусами при данной температуре:

$$\text{УВ}_t = \frac{T_t}{T_{\text{H}_2\text{O}(20^\circ\text{C})}},$$

где T_t – время истечения масла при температуре t , мин; T – время истечения дистиллированной воды при $t = 20$ °С.

Пересчет условной вязкости в динамическую производят по формуле

$$\mu = \rho \cdot \left(716 \cdot 10^{-6} \cdot \text{УВ}_t - \frac{618 \cdot 10^{-6}}{\text{УВ}_t} \right), \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Пересчет условной вязкости в кинематическую производят по формуле

$$\nu = 0,0731 \cdot \text{УВ}_t - \frac{0,631}{\text{УВ}_t}, \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Плотность представляет собой массу однородного вещества в единице объема: $\rho = m/v$, кг/м³.

Температура вспышки масла – это температура, при которой пары масла образуют с воздухом самовоспламеняющуюся смесь. С увеличением вязкости температура вспышки увеличивается.

Температура застывания – это температура, при которой масло теряет свою подвижность в стандартных условиях. Температура застывания определяет способность масла сохранять свои функциональные свойства при низких температурах эксплуатации машин.

Температурная стойкость масла (при трении) – это свойства масла обеспечивать при повышении температуры низкий и стабильный коэффициент трения в условиях граничной смазки.

Липкость – это способность масла закрепляться на поверхности смазываемых деталей за счет физико-химических сил взаимодействия, что уменьшает их разбрызгиваемость и растекаемость. Липкость препятствует выдавливанию масла из зазора между трущимися поверхностями. Масла с большим содержанием смол имеют большую липкость. Однако содержание смол в масле нежелательно в связи с тем, что они могут отложиться на фильтрах и в маслопроводах, что ухудшает их работу.

Рассмотрим основные виды масел и их характеристики.

Моторные масла

Назначение моторных масел:

- уменьшение трения;
- снижение износа и предотвращение задира;
- отвод тепла от трущихся поверхностей;
- уплотнение зазоров.

Классификация моторных масел.

– в зависимости от типа двигателя:

- а) масла для карбюраторных (бензиновых) двигателей;

- б) масла для дизельных двигателей;
- в) масла для карбюраторных (бензиновых) и дизельных двигателей;
 - с учетом климатических условий:
 - а) сезонные (летние, зимние);
 - б) всесезонные;
 - в) арктические;
 - по функциональному назначению:
 - а) рабочие, применяемые при эксплуатации двигателя;
 - б) консервационные, применяемые при длительном хранении;
 - в) рабоче-консервационные, применяемые при длительной работе и кратковременных консервациях;
 - г) консервационно-рабочие, применяемые при длительной консервации и кратковременной работе.
 - по вязкости (отечественные масла, табл. 3.1):
 - по составу:
 - а) минеральные;
 - б) синтетические;
 - в) полусинтетические;

По эксплуатационным свойствам моторные масла делят на 6 групп, три из которых, в свою очередь, подразделяются на две группы: одна для карбюраторных (бензиновых), другая – для дизельных двигателей (табл. 3.2).

Таблица 3.1

Классификация моторных масел по вязкости

Класс вязкости	3 ₃	4 ₃	5 ₃	6 ₃	6	8	10	12	14	16	20	3 ₃ / ₈	4 ₃ / ₆	4 ₃ / ₈	4 ₃ / ₁₀	5 ₃ / ₁₂	5 ₃ / ₁₄	6 ₃ / ₁₀	6 ₃ / ₁₄	6 ₃ / ₁₆
$\nu \cdot 10^{-6}$ м ² /с	3	4	5	6	6	8	10	12	14	16	20	8	6	8	10	12	14	10	14	16

Моторные масла маркируются определенным образом.

Поясним её на конкретных примерах.

Масло М-16В₁ – моторное вязкостью кинематической $\nu = 16 \cdot 10^{-6}$ м²/с при 100 °С, группа В₁.

Масло М-6₃/14 Г₂ – моторное, загущенное, всесезонное вязкостью $\nu = 14 \cdot 10^{-6}$ м²/с при 100 °С, группа Г₂.

Эксплуатационные свойства моторных масел

Группа	Подгруппа	Рекомендуемая область применения
А	–	Нефорсированные карбюраторные и дизельные двигатели
Б	Б ₁	Малофорсированные карбюраторные двигатели (к/д), работающие при высоких температурах и коррозии подшипников
	Б ₂	Малофорсированные дизели
В	В ₁	Среднефорсированные к/д, работающие в условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений
	В ₂	Среднефорсированные дизели, работающие в коррозионных условиях и при высоких износах и температурах
Г	Г ₁	Высокофорсированные к/д, работающие в тяжелых условиях эксплуатации
	Г ₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом
Д	–	Высокофорсированные дизели, работающие с наддувом в тяжелых условиях эксплуатации.
Е	–	Лубрикаторные системы смазывания цилиндров дизелей, работающие на топливе с высоким содержанием серы.

Дробная маркировка указывает на то, что при отрицательных температурах масло отвечает требованиям, предъявляемым к зимнему маслу класса 6, при положительных температурах – к летнему маслу класса 14.

Основными принципами выбора моторных масел являются следующие:

1. Для двигателей, работающих при температурах окружающего воздуха выше 0 °С, следует применить масла классов вязкости 10–20.

2. Следует помнить, что применение масла с излишне высокой вязкостью приводит к перерасходу топлива из-за увеличения потерь на трение, а также к увеличению пусковых износов, если пуск проводят без предпусковой прокачки масла от автономного насоса.

3. Наибольший износ двигателя происходит во время пуска. Поэтому, если пуск производится часто, после непродолжительных перерывов в работе (менее 2 часов), то целесообразно выбрать масло на один класс вязкости выше, чем это необходимо из условий минимальной вязкости, при температуре наибольшего нагрева трущихся деталей. Более вязкое масло медленней стекает со смазываемых поверхностей и обеспечивает наименьший износ при пуске.

4. В быстроходных двигателях транспортных средств целесообразно применять масла классов 10–12, в среднеоборотных тепловозных двигателях – 14–16.

5. В двигателях с большим диаметром цилиндра лучше использовать более вязкое масло, так как оно уплотняет большие зазоры в лабиринте поршневых колец и предотвращает этим прорыв газов из камеры сгорания в картер.

6. Для двигателей, эксплуатируемых при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С, применяют масла классов 6 и 8 или всесезонные масла классов М-3з/8, М-4з/10 и М-6з/10 (рис. 3.1).

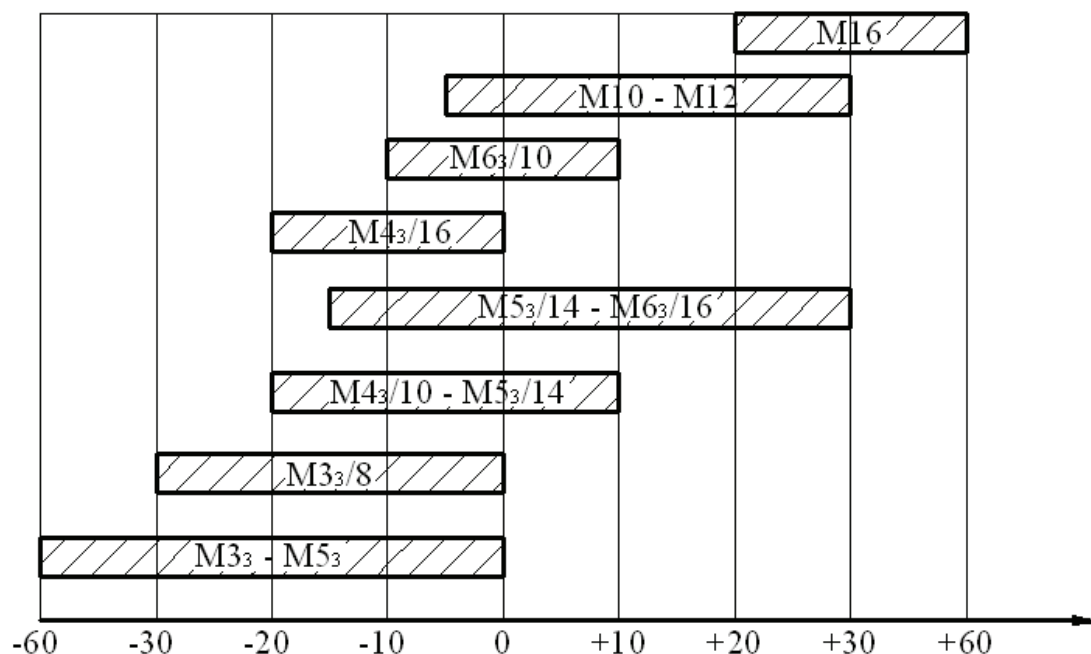


Рис. 3.1. Возможный температурный диапазон применения моторных масел

В автомобильных бензиновых двигателях целесообразно применять следующие масла:

М-3з/8, М-4з/6 – зимой в северных районах;

М-6з/10 – зимой и летом в районах с умеренным климатом;

М-12 – летом в южных районах.

В дизельных двигателях целесообразно применять:

– в северных районах зимой – масла вязкостью 6;

– в районах с умеренным климатом – масла вязкостью 8;

– для зимних и летних условий – масла вязкостью 10–12.

Индустриальные масла

Индустриальные масла предназначены для уменьшения трения, износа и предотвращения задиров трущихся поверхностей узлов трения раз-

личных машин и механизмов промышленного оборудования: металлорежущих станков, прессов, прокатных станов, насосов, гидросистем и т. д.

Отечественный ассортимент охватывает более 100 наименований промышленных масел. Объем их производства превышает 30 % общей выработки нефтяных масел.

По эксплуатационным свойствам промышленные масла делят на следующие:

- а) для гидравлических систем;
- б) для направляющих скольжения;
- в) для зубчатых передач;
- г) для пар трения: шпинделей, подшипников и др.

По качественному составу промышленные масла делят на пять подгрупп:

- А – нефтяные без присадок;
- В – с антиокислительными и антикоррозионными присадками;
- С – с антиокислительными, антикоррозионными и с противоизносными присадками;
- Д – со свойствами подгруппы С и с противозадирными присадками;
- Е – с противоскачковыми присадками.

По назначению промышленные масла делят так:

Л – легко нагружаемые узлы (шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения);

Г – гидравлические системы.

Масла, применяемые для гидросистем, подразделяются так:

- АУ-12 (веретенное), АУ-20 – для гидросистем горного оборудования, работающего при низких температурах (заменители – МТ-20, МТ-30);
- Т-20 А, И-30 А, И-40 А, И-50 А – для гидросистем ВТМ и СДМ (заменители – МГ-20, МГ-30);
- ЕШ, А (арктическое), З (зимнее) – для железнодорожного транспорта;
- РМ – для систем автоматики, работающих при низких температурах;
- А, Р и МГ-ЗУ – для автомобильного транспорта.

Трансмиссионные масла

Трансмиссионные масла применяют для смазывания различного рода механических и гидравлических трансмиссий. Трансмиссионные масла во многом близки с редукторными маслами.

В зависимости от сезона масло делят на зимнее, летнее и всесезонное.

В зависимости от типа трансмиссии она используется следующим образом:

- для смазывания цилиндрических передач;
- для смазывания конических передач;

- для смазывания спирально-конических передач;
- для смазывания гипоидных передач;
- для смазывания шевронных передач.

По назначению масла делят на рабочие, консервационные и рабочие-консервационные.

По вязкости масла подразделяют на четыре класса: 9, 12, 18, 34 (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Класс вязкости масла

Класс вязкости	ν , $\text{м}^2/\text{с} \cdot 10^{-6}$, при $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$
9	6–11
12	11–14
18	14–25
34	25–41

По эксплуатационным свойствам отечественные масла делят на пять групп:

1. Без присадок: цилиндрические, конические и червячные передачи, при контактных напряжениях $\sigma = 800\text{--}1\ 600$ МПа и температуре масла $t < 90\text{ }^\circ\text{C}$.

2. С противоизносными присадками. При работе передач $c \leq 2\ 100$ МПа и t до $130\text{ }^\circ\text{C}$.

3. С противозадирными присадками умеренной эффективности. Передачи при σ до $2\ 500$ МПа и t до $150\text{ }^\circ\text{C}$.

4. С противозадирными присадками высокой эффективности. Передачи при σ до $3\ 000$ МПа и t до $150\text{ }^\circ\text{C}$.

5. С противозадирными присадками высокой эффективности и многофункционального действия гипоидные передачи, работающие с ударными нагрузками выше $3\ 000$ МПа и t до $150\text{ }^\circ\text{C}$.

С учетом действующих классификаций осуществляется и маркировка трансмиссионных масел. Маркировка обозначает следующее: ТМ-5-9. ТМ – трансмиссионное масло; 5 – принадлежность к пятой группе по эксплуатационным свойствам; 9 – класс вязкости масла. Иногда в маркировку включается буквенное обозначение, например, ТМ-5-12-РК, где РК – масло рабоче-консервационное. Аналогичным образом обозначаются зарубежные трансмиссионные масла: SAE 85 W/140.

Рассмотрим основные правила подбора трансмиссионных масел.

1. Подбор масел осуществляется, исходя из конструкций передач и классификации масел.

2. Требуемую вязкость масла предлагается устанавливать, руководствуясь нагрузочно-скоростным фактором.

Для цилиндрических зубчатых передач её определяют по формуле

$$\frac{K_S}{\vartheta} = \left[\frac{F}{b \cdot d} \cdot \frac{u+1}{u} \right] \cdot z_n^2 \cdot z_e^2, \quad (3.1)$$

где F – тангенциальная сила, Н; b – ширина зуба, мм; d – диаметр начальной окружности, мм; u – передаточное отношение; z_n – коэффициент, учитывающий профиль зубьев; z_e – коэффициент перекрытия;

для червячных передач – по формуле

$$\frac{K_S}{\vartheta} = \frac{M}{a^3 \cdot n}, \quad (3.2)$$

где M – передаточный крутящий момент, Н·м; a – расстояние между осями червяка и колеса, м; n – частота вращения червяка, мин⁻¹.

Величину вязкости в зависимости от значений K определяют по таблицам либо по номограммам.

Турбинные масла

Турбинные масла предназначены для смазывания узлов трения паровых, водяных и газовых турбин, турбокомпрессоров, турбонасосов, воздуходувок и электрогенераторов. Иногда они заменяют гидравлические масла. В большинстве случаев турбинные масла служат для охлаждения работающих узлов. Различают два основных вида систем смазки турбинными маслами:

1. Гравитационная система. Применяется в маломощных корабельных и водяных турбинах. Масло подается под гидростатическим давлением столба жидкости из емкости, расположенной выше места подачи масла.

2. Напорная система. Применяется в мощных стационарных турбинах. Масло к узлам трения подается под давлением 0,1–0,5 МПа.

Турбинные масла должны обладать следующими свойствами: стойкостью к окислению и эмульсированию с водой, низкое ценообразование, хорошие смазывающие и противоизносные свойства; отсутствием осадков и шламов, высокой температурой вспышки.

Маркируются турбинные масла следующим образом:

T-20, T-57 – турбинное, цифра обозначает кинематическую вязкость.

Tп-30 – турбинное для паровых турбин.

Компрессорные масла

Компрессорные масла применяют для смазывания и герметизации узлов трения в воздушных, газовых, холодильных компрессорах, вакуумных насосах.

Компрессорные масла классификация так:

1. По их применению:

- для воздушных и газовых компрессоров;
- для холодильных компрессоров;
- для вакуумных насосов.

2. По механической и тепловой нагрузке:

- для легких условий $P \leq 10$ МПа, $t < 100$ °С;
- для средних условий $P \leq 10\text{--}20$ МПа, $t < 140$ °С;
- для тяжелых условий $P > 20$ МПа, $t < 140\text{--}160$ °С.

3. По времени эксплуатации:

- для периодической эксплуатации (5 мин работы, 20 мин перерыв);
- для непрерывной эксплуатации.

Компрессорные масла обозначаются буквой К: К-2, К-28 и т.д.

Специальные масла

Специальные масла предназначены для выполнения особых функций и практически не применяются в обычных условиях смазки машин и механизмов.

К этой группе относятся масла пропиточные, древесные (пихтовое), масла для герметизации скважин, для бумагоделательных машин, паяльное, парфюмерное и т. д.

3.1.2. Пластичные и твердые смазки

В упрощенном виде структуру пластичной смазки можно рассматривать как вату-загуститель, пропитанную маслом. Загустителями служат консистентные углеводороды, мыла различных металлов и жирных кислот. Введенный в масло загуститель образует с ним пространственный скелет, в ячейках сетки которого это масло закрепляется. Волокна загустителя могут быть прямыми, скрученными или спиральными. Молекулы загустителя, кристаллизуясь в решетке, могут быть волокнистыми или шаровидными.

С точки зрения взаимодействия с жидкой фазой загустители можно разделить на 3 группы:

1. Загустители, отличающиеся полиморфной кристаллической структурой. При повышенной температуре образуются высокотемпературные фазы, которые при охлаждении переходят в другие кристаллические фор-

мы. К таким загустителям относятся все мыла. У пластических смазок с такими загустителями появляется склонность к переохлаждению, выделению воды. При быстром охлаждении они могут сохранить неупорядоченное строение и застывать в стеклообразную аморфную массу.

2. Твердые углеводороды (парафины, церезины), не обладающие полиморфизмом, которые плавятся при сравнительно невысокой температуре и образуют с маслом гомогенные растворы.

3. Теплостойкие органические и неорганические загустители, нерастворимые в жидкой фазе. Они не подвержены фазовым превращениям под действием температурных изменений. Пластические смазки на их основе характеризуются высокой теплостойкостью. Загустители этой группы подвергаются поверхностной химической обработке, которая дает возможность взаимодействовать при смешивании с маслом. К этой группе относятся алюминиевые мыла.

Свойства пластичных смазок

Свойства пластичных смазок зависят от типа загустителя и масла, а также от их назначения.

Реологические свойства. К реологическим свойствам относят вязкость, пенетрацию, коэффициент тиксотропии и предел текучести.

Вязкость измеряют капиллярными вискозиметрами. В основном она зависит от температуры, типа загустителя и масла.

Пенетрация – консистенция, т. е. степень густоты. Определяется пенетрометром Ричардсона.

Коэффициент тиксотропии – отношение вязкости до механического разрушения к вязкости после механического разрушения.

Предел текучести – это касательное напряжение, выше которого начинается течение смазки. Он имеет большое значение для определения поведения смазок при разгоне механизма в условиях низких температур.

Трибологические свойства. Трибологические свойства характеризуют способность пластичных смазок снижать трение при различных температурах.

Термостойкость пластических смазок

Способность сохранять свои эксплуатационные качества при повышенной температуре характеризуется термостойкостью. Термостойкость оценивается температурами каплепадения и размягчения.

Температура каплепадения смазки – это температура, при которой от наклонного под заданным углом сосуда со смазкой отрывается первая капля расплавленной смазки.

Некоторые смазки даже при значительной температуре не образуют каплю. Для этих смазок определяют температуру размягчения – температуру, при которой смазка вытечет из стандартной гильзы на 5 мм.

Для смазок с базовым маслом, имеющим небольшую вязкость, возможно частичное испарение. Для таких смазок определяют потери на испарение взвешиванием порции смазки до и после нагрева.

Механическая стойкость. Для оценки механической стойкости производят отпрессовывание смазки в цилиндре при числе циклов до десятков тысяч. По измеренным значениям пенетрации до и после отпрессовывания делают представления о механической стойкости. Механическую стойкость могут оценить и при различных температурах.

Поглощение воздуха. Поглощаемость воздуха определяют взбиванием смазки в высокоскоростной лопастной мешалке. Затем взбитой смазкой заполняют пробирки и помещают их для вращения в центрифуге. Если в мешалке в смазку попал воздух, то объем смазки в пробирке после центрифуги понизится. Объем этот измеряют и делают заключение о поглощаемости воздуха. Хорошая смазка не должна поглощать воздуха более 15 % объема.

Водостойкость. Исследуется поведение смазки при контакте с водой. Вода может растворить смазку и вымыть загуститель. Этому явлению подвергаются смазки, загущенные натриевыми мылами жирных кислот. С водой смазки могут образовывать эмульсии. Единой методики водостойкости пластичных смазок нет. Ее можно определить изменением числа пенетрации до и после контактирования масла с водой, изменением массы при попадании в смазку воды либо при вымывании смазки из подшипникового узла, помещенного на стенде, и т. д. Хорошая смазка не должна эмульсироваться, смываться и образовывать на воде масляной пленки.

Коррозионное действие. Пластичные смазки могут содержать химически активные вещества. Качество смазки определяется металлическими пластинками (медь, сталь и др.), погружаемыми в смазку на несколько часов (от 3 до 24) при температуре 100 °С. Если на металлической пластинке после ее погружения остаются следы коррозии (налет либо потемнение), то смазку к эксплуатации не допускают.

Защитное действие. Смазки должны защищать поверхность от воздействия агрессивных сред. Оценка защитных свойств смазки производится с помощью металлических пластин, смазанных исследуемой смазкой, погруженных в морскую или пресную воду. Производятся также исследования на работающих подшипниковых узлах. Время испытания 28 суток.

Химическая стойкость. Это устойчивость смазки к изменению химического состояния под действием разных реагентов – кислот, щелочей, кислорода, воздуха и др. Химическая стойкость имеет очень важное значение при хранении смазок, при работе узла с одной закладной смазкой на несколько лет, а иногда на весь период эксплуатации. Химическую стойкость исследуют различными методами: после длительного хранения анализируют корочку, появившуюся на поверхности, применяют кусочки металла и др.

Микробиологическая стойкость. Некоторые компоненты пластичных смазок могут быть пищей для бактерий, развитие которых приводит к разрушению коллоидной структуры смазки. Микробиологическую стойкость смазки исследуют на тонких пленках, нанесенных на металлические или стеклянные пластинки. Для предупреждения вредного действия бактерий в смазке в качестве биоцидов вводят соли бензойной кислоты, салицилового фенола.

Радиационная стойкость. Стойкие к α и β излучению смазки должны применяться на атомных предприятиях и в ядерных реакторах, в некоторых видах военной техники. Высокоэнергетическое действие излучения приводит к активизации процессов окисления и поляризации, в результате которой растет вязкость масла и уменьшается пенетрация. При длительном воздействии смазка твердеет. Радиационную стойкость определяют действием на смазку радиоактивным источником, например кобальтом. С целью повышения радиационной стойкости в смазку помещают ароматические масла, полифениловые и силиконовые масла.

Классификация пластичных смазок

В зависимости от присущих им свойств пластичные смазки подразделяются на 4 группы.

1. По виду дисперсионной фазы (масла) смазки делят так:
 - на смазки, получаемые загущением минеральных масел: из парафиновой нефти, из парафиновой нефти;
 - на смазки, получаемые загущением синтетических масел: силиконовых, полиалкиленгликолевых, сложноэфирных, фторированных, полифениловых.
2. По виду дисперсной фазы (загустителя) они подразделяются следующим образом:
 - на смазки, загущенные мылами металлов: конвенционными (Ca, Na, Li, Al, Ba_s, Pb), смешанными (Ca-Na; Ca-Zi), комплексными (C, Al);
 - на смазки, загущенные другими загустителями: твердыми углеводородами (парафинами и церезинами), органическими веществами (пигментные или карбомидные), неорганическими веществами (кремнеземные или бентонитовые).
3. По назначению их используют для подшипников качения; для подшипников скольжения; для передач (канатная и др.).
4. По особым свойствам они бывают термостойкие; низкотемпературные; стойкие к высокому давлению; влагостойкие; кислотостойкие и др.

Характеристика пластических смазок

Рассмотрим характеристики основных пластических смазок, применяемых в горной технике.

Кальциевые смазки. Эти смазки являются первым видом производимых в мире пластичных смазок. В настоящее время в России и Польше их выпускают около 40 %, в США, ФРГ и Франции – около 20 %. Температура каплепадения этих смазок составляет 60–100 °С, рабочая температура – около 60 °С. В качестве загустителя применяют сухогашеную известь. К кальциевым смазкам в России относят широко известные солидолы. В настоящее время выпускают солидолы УС-1, УС-2 и УС с А.

УС-1 производится на кальциевых мылах, из конопляного масла. Температура рабочая – (–30)–(+45 °С), температура каплепадения –75 °С, пенетрация – 330–350.

УС-2 производится на кальциевых мылах, рабочая температура – (–30)–(+50 °С), температура каплепадения – 75 °С, пенетрация – 230–290.

УСсА – графитовый солидол на цилиндрическом масле. Содержит 9–11 % графита. Применяется для смазывания рессор, зубчатых колес. Рабочая температура – (–30)–(+65°С).

Циатим-208 – кальциевая смазка с добавлением сульфитированного нигрола. Применяется для сильно нагруженных механизмов (редукторы, зубчатые передачи).

Циатим-221 – кальциевая смазка на силиконовом масле. Используется для подшипников качения. Рабочая температура – (–50)–(+150 °С), максимальная – 200 °С, при контакте с водой твердеет.

Униол-1, Униол-2, Униол-3, Униол-4 – комплексные кальциевые смазки.

Температура каплепадения у Униол-1 – 230 °С, рабочая температура – (–30)–(+150°С).

Температура каплепадения у Униол-4 – 240–280 °С, рабочая температура –(–50)–(+200 °С).

Натриевые смазки. Наиболее широко известны в России натриевые смазки – консталины, такие как смазки УТ – универсальные тугоплавкие. Они содержат большое количество загустителя, их не следует применять при низких температурах. Консталины используют в основном в железнодорожном транспорте.

УТ-1 – консталин, температура каплепадения которого равна 130 °С, пенетрация – 255–275 °С, рабочая температура УТ-1 и УТ-2 составляет около 100 °С.

К натриевым смазкам относится широко известная смазка 1-В. Загустителем в ней является натриево-кальциевое мыло. Эта смазка применяется для электродвигателей, автомобилей и тракторов, подшипников.

Литиевые смазки. Литиевые смазки являются универсальными, способными работать в широком диапазоне температур, нагрузок и скоростей. Они содержат небольшое количество загустителя – 8–12 %. При использовании низкотемпературных масел могут применяться при температуре до – 50 °С.

Литол-24, Фиол-2, Фиол-3 – загущены плюс 12-аксистеаратом лития. Применяются для смазывания автомобильных подшипников. Температура каплепадения бывает выше 185 °С, рабочая температура составляет (–40)–(+130 °С).

Циатим-201 – первая советская литиевая смазка, загущенная стеаратом лития. Используется для смазывания подшипников качения и скольжения. Температура каплепадения – 170 °С, рабочая температура – (–60)–(+90 °С), пенетрация – 270–320 °С.

Алюминиевые смазки. Эти смазки выпускаются в узком ассортименте и в небольшом количестве. К данной группе относят смазки ВНИИП-264, ВНИИП-279, Сиол, Графитол, Аэрол, Силикол. Они применяются для смазывания подшипников качения, работающих при высоких скоростях вращения.

ВНИИП-225 – смазка в виде пасты на силиконовом масле с добавлением дисульфида молибдена. Рабочая температура – (–30)–(+450 °С). При температуре выше 350 °С масло выгорает и смазка работает как твердая смазка.

Защитные смазки. Смазка ГОИ-54П, масло МВП, загущенное церезином. Используются для смазывания при низких температурах слабо нагруженных узлов. Рабочая температура – (–50)–(+80 °С), температура каплепадения – 100 °С. Технический вазелин ВТВ-1 – маловязкое минеральное масло, загущенное церезином с добавлением 0,2 % полиизобутилена для увеличения прилипаемости к поверхности.

ВНИИСТ-2 – полужидкая углеводородная смазка, используется для защиты от коррозии наземных трубопроводов.

АМС-1, АМС-3 – цилиндрическое масло, загущенное алюминиевым мылом.

ЗЭС – защитная смазка, предназначенная для линий электропередач высокого напряжения. Температура каплепадения – 105 °С, пенетрация – 270–335 °С.

Канатные смазки. Эти смазки имеют антифрикционные и защитные свойства. Они защищают канат от коррозии и уменьшают трение между волокнами каната. К канатным смазкам относят 39У, БОВ-1, Торсиол-35, Торсиол-55, Е-1.

Выбор пластичных смазок. При подборе смазки необходимо произвести следующие действия:

1. Провести анализ нагрузок, действующих на смазку в механизме.
2. Определить тип смазки с учетом температуры, угловой скорости, развиваемой при трении температуры.
3. По уровню нагрузок определить потребность применения смазок с присадками либо без них.
4. Подобрать консистенцию смазки.

При анализе нагрузок, действующих на смазку, определяются механические и тепловые нагрузки, для которых из серийно выпускаемых смазок по справочным материалам подбирают нужную марку.

Подбор смазок осуществляют с учетом рабочей температуры и частоты вращения.

Поскольку пластичные смазки в основном применяются при смазывании подшипников качения, то важно подобрать смазку с учетом специфики эксплуатации подшипниковых узлов. Основными параметрами работы подшипников качения является температура, нагрузка и скорость вращения. Нагрузку и скорость вращения учитывают вязкостью, механической стойкостью и пенетрацией. Чем выше нагрузка, тем больше вязкость и механическая стойкость. Чем выше скорость вращения, тем меньше должно быть число пенетрации. Средняя рабочая температура большей части подшипников находится в пределах 30–80 °С. В этих периодах обычно работают кальциевые и натриевые смазки. При температуре до 120 °С применяют смазки, загущенные литиевыми мылами, а также комплексные смазки (Ca-Na-Al) и смазки, загущенные органическими и неорганическими загустителями. При температуре до 150 °С применяют только комплексные смазки. При температуре выше 150 °С используют силикагелевые, бентонитовые, полимерные смазки. Температуру 200–300 °С выдерживают только смазки на синтетических маслах из группы силиконовых и галогенированных масел.

Для подшипников, работающих с частотой вращения меньше 3 000 об/мин, можно применять любой тип смазки. При частоте вращения 3 000–5 000 об/мин применяют смазки с большой прочностью структуры – литиевые, комплексные. При очень больших частотах вращения лучше работают смазки на маслах с небольшой вязкостью, но с высоким классом консистенции.

Подбор смазок с присадками. В обычных условиях работы подшипников качения при $C/R > 10$ –15 величина контактных напряжений не превышает 100 МПа, поэтому нет необходимости применять специальные присадки. Специальные присадки используют при контактных напряжениях выше 3 000 МПа. Специальные присадки следует применять при работе подшипников с радиальной нагрузкой $C/R \leq 10$.

Подбор смазок по степени пенетрации. При подборе смазки к конкретному устройству важен выбор смазки с конкретной пенетрацией. Смазки с консистенцией 1-го класса (до 200) применяют для центральных систем смазывания и в тех случаях, когда необходимо легкое перекачивание смазки. В остальных случаях используют смазки 2-го класса (200–300).

Смазки 3-го класса (> 300) используют при смазывании подшипников с внутренним диаметром более 65 мм с вертикальной либо наклонной осью, когда нужно погасить вибрации механизма в процессе работы или тщательно уплотнить подшипниковый узел.

Твердые смазочные материалы

В тех редких случаях, когда в узлах не могут использоваться жидкие или пластичные смазки (очень низкие или высокие температуры, глубокий вакуум и т. д.), применяют твердые смазки.

Графит имеет малую химическую активность, высокие антифрикционные свойства. Даже при температуре выше 1 000 °С графит имеет коэффициент трения $f = 0,15-0,25$.

Молибден, ванадий, тантал обладают высокими антифрикционными свойствами. Плохо работают во влажной среде, однако хорошо работают при очень высоких температурах – до 800 °С.

Фториды и хлориды – твердые смазки, рабочая температура которых равна около 800 °С. Они используются как покрытия в жаростойких подшипниковых узлах. Мягкие металлы и окислы используют в качестве основы покрытий на твердых композиционных материалах. Существенным является то, что с повышением температуры для этих металлов происходит снижение сопротивления трению. Окислы свинца (PbO), бария (Ba₂O₃) применяют при трении в окислительных средах.

Органические полимерные материалы, такие как полиэтилен, полиамиды, в чистом виде не обладают высокими антифрикционными свойствами и используются в качестве связующих с металлами, фторопластиками. При их соединении получают металло-полимерные подшипники.

Политетрафторэтиленовые материалы обладают уникальными антифрикционными свойствами, чрезвычайно химически стойки, не смачиваются жидкостями, не горят. Их изготавливают в виде порошков и напыляют на поверхность или смешивают при изготовлении.

3.2. Системы смазки

3.2.1. Классификация систем смазки

В зависимости от принципа подвода смазочных материалов к поверхностям и узлам трения различают следующие системы смазки (рис. 3.2).

Смазка маслами. Индивидуальная смазка применяется для отдельных деталей и узлов, когда их подключение к централизованной системе затруднено. В этом случае используют отдельные масленки, трубки Питто и др.

Смазку погружением применяют в основном в редукторах, когда тепло, выделяемое при работе узлов трения, полностью отводится в окружающее пространство.

Смазка под давлением используется в случае необходимости постоянного отвода тепла и обеспечения жидкостного трения. Масло подается в узлы трения под давлением с помощью циркуляционных систем насосами.

Смазка пластичными материалами. Индивидуальная смазка передается периодически, ручными шприцами через масленки (тавотницы), установленные в корпусе.

Закладная смазка заключается в заполнении узла трения смазкой на длительное время. Замена смазки происходит, как правило, во время ремонта.

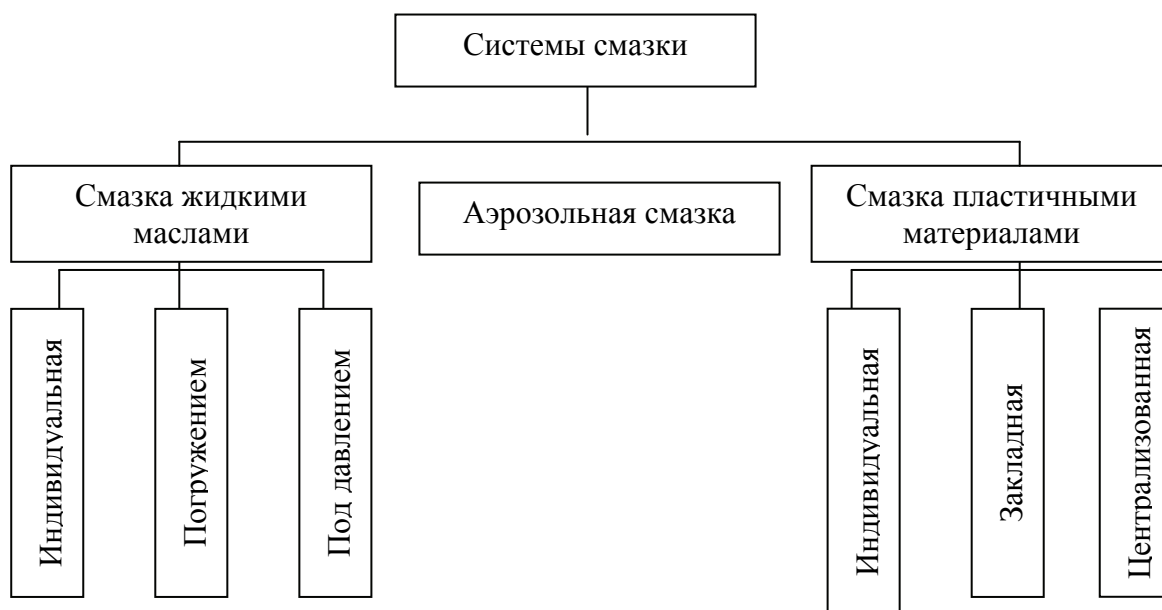


Рис. 3.2. Системы смазки

Централизованная смазка. Ее применяют для одновременной смазки большого числа узлов трения, расположенных на значительном удалении от центральной насосной станции.

Аэрозольная система смазки. Используется при работе узлов с высокими нагрузками и температурами. Достоинствами являются: небольшой расход смазочных материалов, простота конструкции. Применяются выпускаемые промышленностью генераторы масляного тумана (ГМТ). Генератор масляного тумана состоит из следующих основных узлов: фильтра-влагоотделителя для удаления загрязнений и влаги из сжатого воздуха, электромагнитного клапана для подачи сжатого воздуха, регулятора давления воздуха, маслораспылителя, резервуара для масла, приборов контроля и регулирования.

Генератор работает следующим образом. Сжатый воздух от компрессора или сети подается по воздухопроводу через фильтр-влагоотделитель, электромагнитный клапан, регулятор давления, электронагреватель воздуха в маслораспылитель и, создавая разрежение в его эжекционной камере с помощью главного и вспомогательного дросселей, всасывает в эту камеру из резервуара необходимое для распыления количество масла. Образующаяся при этом масляно-воздушная смесь (туман) находится под давлением в верхней части резервуара. Под созданным давлением в области масляный туман через отверстие распылителя по системам трубопроводов подается к точкам смазки.

Масло в резервуар подается по трубопроводу шестеренными насосами (их, как правило, два – один рабочий, один резервный) через фильтр и подогревается в резервуаре с помощью электронагревателя. Уровень масла в резервуаре контролируется датчиками реле минимального и максимального уровня. Электроконтактный манометр отключает компрессор сжатого воздуха при превышении давления тумана в резервуаре сверх допустимого. Одновременно срабатывает предохранительный клапан, выпуская масляный туман в атмосферу.

Поступая по трубопроводам к узлам трения, масляный туман конденсируется в соплах и на поверхности трения подается в жидком виде, а воздух через неплотности выходит в атмосферу.

Циркуляционные системы жидкой смазки

Циркуляционные системы жидкой смазки по устройству одинаковы и отличаются лишь производительностью, типом насосов, типом фильтров, приборами контроля и регулирования.

Работает циркуляционная система жидкой смазки следующим образом. Масло рабочим насосом через плавающую всасывающую трубку всасывается из резервуара и поступает в пластинчатые фильтры, в которых происходит очистка масла от механических примесей, откуда через маслоохладитель по напорному трубопроводу поступает к узлам трения. После смазки всех узлов масло самотеком по сливному трубопроводу возвращается в резервуар. В нем масло отстаивается, освобождается от механической примеси и воды с помощью центробежного сепаратора. Для улучшения отстоя, а также для работы в зимнее время масло в резервуаре подогревается нагревательным элементом с помощью пара или электроэнергии.

Подача пара регулируется с помощью мембранного вентиля с электромагнитным приводом. Вентиль включается при минимально допустимой температуре масла в резервуаре, а выключается при достижении нормальной температуры масла. Электроподогрев регулируют термопарой. Команду на включение и выключение вентиля дает электроконтактный термометр, датчик которого установлен на резервуаре и контролирует

температуру масла. Температура масла также контролируется после маслоохладителя с помощью датчика и электроконтактного термометра.

При превышении допустимой температуры на пульт управления системой подается предупреждающий сигнал. Для непрерывного измерения давления масла до и после фильтров применяется дифференциальный манометр. Для измерения давления масла в напорном трубопроводе за теплообменником установлен манометр общего назначения. В аварийных ситуациях, когда фильтры засорены и их приводы не включаются, срабатывает перепускной клапан и масло поступает к узлам трения, минуя фильтры.

Для контроля давления масла в системе и автоматического включения резервного насоса на станции жидкой смазки установлены два электроконтактных манометра (ЭКМ). При уменьшении давления ниже допустимого (0,2–0,25 МПа) минимальный контакт первого ЭКМ замыкается и автоматически включается резервный насос. Одновременно подаются световой и звуковой сигналы. При повышении давления до 0,35 МПа замыкается максимальный контакт и резервный насос отключается. Вторым ЭКМ контролируется аварийно низкое давление в системе. При падении давления до аварийного значения (0,1–0,15 МПа) минимальный контакт замыкается, подается команда на отключение двигателей насосов с выдержкой времени и включаются световой и звуковой сигналы. При повышении давления в напорном трубопроводе после теплообменника сверх допустимого, например, при засорении сопел подвода масла к узлам трения замыкается максимальный контакт второго ЭКМ и включается предупреждающий сигнал. Контроль уровня масла в резервуаре выполняется с помощью датчика уровня поплавкового типа.

В системе смазки подшипников жидкостного трения применяется резервуар (пресс-бак) с тремя реле уровня, давление воздуха в котором равно давлению масла в напорном трубопроводе.

Централизованные системы пластичной смазки (ЦСПС)

В зависимости от частоты подачи смазки, расположения и количества узлов трения для смазки оборудования применяют в основном двухмагистральные ЦСПС с ручным приводом либо автоматические с электрическим приводом петлевого или концевого типа.

Для смазки отдельных машин и механизмов с небольшим числом смазываемых узлов трения используются ЦСПС с ручным приводом.

Для обслуживания отдельных машин, нуждающихся в частой подаче смазки, а также в тех случаях, когда от одной системы необходимо смазывать несколько крупногабаритных машин, сосредоточенных в одном месте и не расположенных в одну линию, применяют ЦСПС петлевого типа.

Для обслуживания машин и механизмов, вытянутых в линию или расположенных на большой площади, используют ЦСПС концевого типа (рис. 3.3).

Система работает следующим образом. Смазка из резервуара станции 3 плунжерным насосом через распределитель 2 подается в одну из магистралей М1 или М2, например, в магистраль М1, которая в этот период является напорной, и через сетчатые фильтры 1 по соответствующему трубопроводу 6 поступает в дозирующие питатели 4 и далее по подводящим трубопроводам 5 к точкам смазки А. Излишки смазки от дозирующих питателей по другой магистрали М2, которая является в этот период разгрузочной, через распределитель 2 возвращаются в резервуар станции.

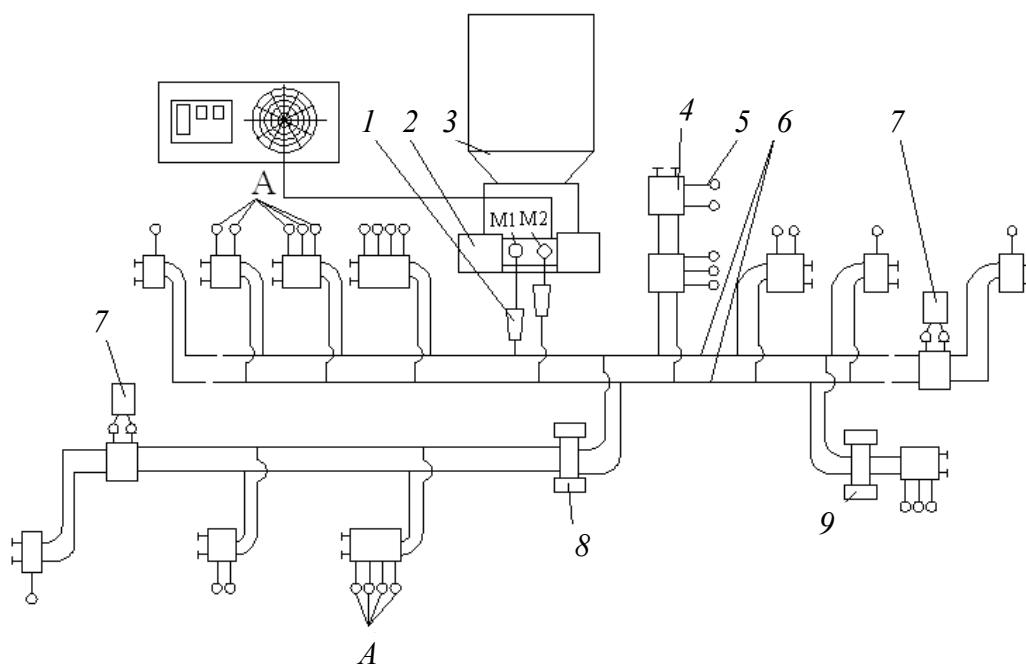


Рис. 3.3. ЦСПС концевого типа

После того как сработают все питатели, давление в напорной магистрали начинает повышаться и при достижении заданного, срабатывает блок переключения 7, устанавливаемый в конце наиболее длинного ответвления главной магистрали, и подает сигнал на отключение двигателя насоса станции и переключение электромагнитного распределителя 2. Система готова к очередному циклу смазки; при этом магистраль М2 становится напорной, а магистраль М1 – разгрузочной.

При наличии двух блоков переключения 7 на концах двух наиболее длинных ответвлений главной магистрали один из блоков делают контрольным и переключение распределителя 2 происходит после срабатывания контрольного блока.

Для подключения к системе узлов машин, смазка которых требуется через более длительные промежутками времени по сравнению с другими

машинами, на магистральных трубопроводах устанавливают двухмагистральные распределители 8. При необходимости редких подключений машин к системе смазки применяют распределители с ручным управлением. Для отключения от системы смазки отдельных узлов трения или машин, работающих периодически, используют запорные распределители 9. Они состоят из корпуса, золотника с двумя поршнями, открывающими и закрывающими перепускные отверстия, связанные с магистральными трубопроводами, и двух электромагнитов, связанных с золотником. На резервуаре каждой станции 3 устанавливают два конечных выключателя типа ВК-300А, которые контролируют верхний и нижний уровень смазки в резервуаре. Заправка станций всей ЦСПС может осуществляться от централизованной автоматической системы или индивидуально с помощью перекачивающего шестеренного насоса типа НППШГ-200М.

3.2.2. Расчет систем смазки

Расчет систем жидкой смазки

Расчет систем жидкой смазки включает выбор сорта масла, определение производительности насоса или количества масла, заливаемого в картер, и параметров основного оборудования систем.

1.1. Сорт масла выбирают с учетом обеспечения в узле жидкостного трения, которое в основном определяется вязкостью масла.

1.1.1. Необходимую кинематическую вязкость масла для радиальных подшипников скольжения определяют, $\text{м}^2/\text{с}$, по формуле

$$\nu = 1,06 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{W \cdot \lambda^2}{\ell \cdot d \cdot w \cdot [S_0]}, \quad (3.3)$$

где W – нагрузка на подшипник, Н; D – внутренний диаметр подшипника, м; d – диаметр шейки вала, м; w – угловая скорость, с^{-1} ; $[S_0]$ – критерий Зоммерфельда, определяемый по справочной таблице; ℓ – осевая длина вкладыша подшипника, м; λ – относительный зазор узла трения,

$$\lambda = \frac{(D - d)}{d}. \quad (3.4)$$

По этой вязкости в зависимости от условий эксплуатации выбирают сорт смазки по справочной таблице.

1.1.2. Для осевых подшипников скольжения (с самоустанавливающимися колодками) кинематическую вязкость вычисляют, м²/с, по формуле

$$\nu = 4,8 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{W \cdot h_{\min}^2}{\ell^3 \cdot d \cdot n \cdot w}, \quad (3.5)$$

где W – нагрузка на подшипник, нормальная к плоскости скольжения, Н; h_{\min} – минимальная толщина смазочного слоя, м.

Практически h_{\min} определяют в соответствии с верхним зазором между валом и вкладышами подшипника скольжения. При диаметре D подшипников 0,05–0,4 м h_{\min} принимают: для тихоходных валов $(0,02–0,12) \cdot 10^{-3}$ м, для быстроходных $(0,1–0,325) \cdot 10^{-3}$ м.

1.1.3. Необходимую вязкость масла для зубчатых передач при рабочей температуре до 50 °С находят по формуле

$$\text{ВУ}_{50} = 0,5 \cdot m \cdot g, \quad (3.6)$$

где ВУ_{50} – условная вязкость масла при температуре 50 °С; m – коэффициент, зависящий от окружной скорости V зубчатых колес; при V до 8 м/с $m = 1,6$; при $V = 8–10$ м/с $m = 1,2$; при $V = 16–25$ м/с $m = 1,0$; g – удельная нагрузка, приходящаяся на единицу длины зуба, определяемая по формуле, Н/м,

$$g = \frac{N}{v \cdot b}, \quad (3.7)$$

где N – передаваемая мощность зубчатой передачи, Вт; b – ширина зуба, м.

При рабочей температуре масла выше 50 °С его вязкость для зубчатых передач рассчитывается по формуле

$$\text{ВУ}_{50} = 0,5 \cdot m \cdot g \cdot \left(\frac{t}{50} \right)^{-a}, \quad (3.8)$$

$$a = 2,3 + \left(0,05 \cdot \text{ВУ}_{50} - \frac{0,04}{\text{ВУ}_{50}} \right). \quad (3.9)$$

1.1.4. Вязкость масла при работе возвратно-поступательных механизмов вычисляют по выражению

$$\nu_{50} = \frac{h_{\min}^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{L}{B} \right)^2 \right] \cdot W \cdot 10^{-2}}{L^2 \cdot V \cdot B}, \quad (3.10)$$

где h_{\min} – минимальный зазор между скользящими деталями, м; L и B – соответственно, длина и ширина опорной части кривошипа, м; W – нагрузка, нормальная к плоскости скольжения, Н; V – скорость скольжения, м/с.

Как правило, суммарная высота неровностей на соприкасающихся деталях в зависимости от точности и шероховатости обработки колеблется от 0,01 мм (тонко шлифованные или приработавшиеся поверхности) до 0,1 мм (чистовая обработка на станках). Для сохранения в поступательно движущихся частях условий жидкостного трения необходимо, чтобы толщина масляной пленки h_{\min} была не менее указанных пределов (0,01–0,1 мм).

Между условной кинематической вязкостью существуют зависимости, которые следует принимать при приближенных расчетах:

$$v = 7,58 \cdot \text{ВУ}, \quad \text{ВУ} = 0,132 \cdot v. \quad (3.11)$$

1.1.5. Для подшипников качения сорт масла выбирают в основном в зависимости от температуры, развиваемой в узле, температуры окружающей среды с учетом рекомендаций, указанных в справочных таблицах.

Способ смазки выбирают на основе анализа теплового баланса между количеством тепла, выделяющегося в узлах трения, и отводимого в окружающее пространство. Для машин, у которых все тепло, выделяющееся в узлах трения, может быть отведено в окружающее пространство через стенки корпусных деталей путем теплопередачи, может быть применен любой способ смазки. Для машин, у которых не все тепло от узлов трения может быть отведено в окружающее пространство, необходимо применение циркуляционных систем смазки.

1.2. Количество тепла, выделяющееся в узлах трения машины, определяют по формуле, Дж/мин,

$$Q_1 = 7,76 \cdot \sum_{i=1}^n (1 - \eta_i) \cdot N_i, \quad (3.12)$$

где n – число узлов трения в машине; η – КПД i -го узла трения; N_i – передаваемая мощность i -м узлом, Вт.

1.3. Количество тепла, отводимое в окружающее пространство от узлов трения путем теплопередачи, Дж/мин, вычисляют по выражению

$$Q_2 = \frac{1}{60} \cdot k \cdot (t_2 - t_1) \cdot F, \quad (3.13)$$

где k – общий коэффициент теплоотдачи от масла в окружающую среду, Вт/(м²·К); t_2 – рабочая температура масла, К,

$$t_2 = (t_p + 273), \quad (3.14)$$

где t_p – рабочая температура масла, °C; t_1 – температура окружающей среды, К; F – поверхность машины, через которую тепло отводится в окружающее пространство, м².

1.4. Производительность насоса масляной станции при циркуляционной смазке определяется, л/мин:

$$P = 1\,000 \frac{Q_1 - Q_2}{\xi \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta t}, \quad (3.15)$$

где ξ – коэффициент, учитывающий степень использования масла в узлах трения, $\xi = 0,5-0,8$; c – удельная теплоемкость масла, Дж/(кг·К); ρ – плотность масла, кг/м³; Δt – допускаемое повышение температуры масла сверх нормальной, К;

$$\Delta t = t_B - t_p, \quad (3.16)$$

где t_B – температура вспышки масла, К.

1.5. Количество масла, заливаемого в картер при смазке зубчатых передач погружением, рассчитывают по глубине погружения зуба в масло:

$$G_1 = (h_1 + h_2) \cdot F_k \quad (3.17)$$

и по передаваемой мощности:

$$G_1 = (0,3 - 0,5) \cdot N, \quad (3.18)$$

где h_1 – глубина погружения зуба в масло, дм; h_2 – зазор между зубчатым колесом и дном картера, дм; F_k – площадь основания картера, дм².

Из двух значений G_1 принимают большее.

1.6. Необходимую поверхность теплообменника (радиатора) определяют, м², по формуле

$$F_m = \frac{(Q_1 - Q_2)}{k_1 \cdot \Delta t_1}, \quad (3.19)$$

где Δt_1 – средний перепад температуры масла и охлаждающей жидкости, К; k_1 – общий коэффициент теплопередачи от масла к охлажденной жидкости, Вт/(м²·К);

$$\Delta t_1 = \frac{t_{\text{ВХ.М}} - t_{\text{ВЫХ.М}}}{2} - \frac{t_{\text{ВХ.О}} - t_{\text{ВЫХ.О}}}{2}, \quad (3.20)$$

где $t_{\text{ВХ.М}}$, $t_{\text{ВЫХ.М}}$ и $t_{\text{ВХ.О}}$, $t_{\text{ВЫХ.О}}$ – температуры, соответственно, масла и охлаждающей жидкости на входе и выходе теплообменника, К.

1.7. Фильтры выбирают по площади фильтрации, рассчитываемой по формуле, м^2 ,

$$F_{\text{ф}} = \frac{P \cdot V_{\text{н}}}{100 \cdot v_{\text{ф}}}, \quad (3.21)$$

где P – производительность насоса, $\text{м}^3 / \text{мин}$; $v_{\text{ф}} = 6-15$ – скорость фильтрации, $\text{м}/\text{мин}$.

1.8. Площадь сечения магистральных трубопроводов (напорных и сливных) определяют, м^2 , по формуле

$$F_{\text{м}} = \frac{P \cdot V_{\text{н}}}{6 \cdot v_{\text{ф}}}, \quad (3.22)$$

где v – скорость подачи масла, $\text{м}/\text{с}$; для напорных трубопроводов $V_{\text{н}} = 0,5-10$ $\text{м}/\text{с}$, для сливных $V_{\text{с}} = 0,2-0,3$ $\text{м}/\text{с}$.

1.9. Площадь сечения маслоподводящих труб к узлам трения, м^2 ,

$$F_{\text{подв}} = 14 \cdot 10^{-6} \frac{V_{\text{н}}}{v_{\text{н}}}. \quad (3.23)$$

1.10. Площадь сечения маслоотводящих труб к узлам трения, м^2 ,

$$F_{\text{отн}} = 4 \cdot F_{\text{подв}}. \quad (3.24)$$

1.11. Мощность привода насоса, кВт,

$$N_{\text{н}} = \frac{V_{\text{н}} \cdot P \cdot k_3}{60 \cdot 10^3 \cdot \eta}, \quad (3.25)$$

где P – давление, Па; k_3 – коэффициент запаса, $k_3 = 1,3-1,6$; η – КПД насоса.

Расчет аэрозольной смазочной системы

Порядок расчета данной смазочной системы будет следующим: выбор типа масла (аналогично расчетам системы жидкой смазки), определе-

ние расхода масла и аэрозоля; расчет проходного сечения коагуляторов и выбор типа и количества генераторов; определение проходного сечения трубопроводов.

2.1. Расход масла определяют, г/ч, по формуле

$$Q_i = q_i \cdot S_i, \quad (3.26)$$

где Q_i – массовый расход масла на i -й узел трения в единицу трения; q_i – удельный расход масла на единицу площади данного вида узла трения в единицу времени, г/(дм²·ч).

Для зубчатых и червячных передач он равен следующему: для нереверсивных $q = 0,8$ при малой нагрузке, $q = 1,2$ при большой нагрузке; реверсивных, соответственно, 1,2 и 1,5; для направляющих $q = 0,15$; для подшипников скольжения $q = 1$ при умеренной работе, $q = 1,8$ при тяжелой работе и $q = 3,7$ при тяжелой работе с большой утечкой масла. Для вкладышей шпинделей $q = 3,7$.

S_i – расчетная площадь узла трения, дм.

Для колес

$$S_i = 0,25 \cdot b \cdot (d_{\text{ш}} + D_{\text{к}}), \quad (3.27)$$

где b – ширина зуба, дм; $d_{\text{ш}}$, $D_{\text{к}}$ – соответственно, делительные диаметры шестерни и зубчатого колеса зацепления.

Для подшипника скольжения

$$S_i = d \cdot \ell, \quad (3.28)$$

где d , ℓ – соответственно, диаметр и длина, дм.

Для подшипников качения

$$Q_i = \frac{q_i \cdot d_i \cdot k}{100}, \quad (3.29)$$

где q_i – удельный расход масла для однорядного подшипника диаметром 100 мм; d_i – внутренний диаметр i -го подшипника, мм; k – число рядов подшипника.

Для шарикоподшипников q_i (г/ч) равно: 0,5 – при нормальных условиях работы, 1,0 – при тяжелых. Для роликоподшипников, соответственно, 1,0 и 2,0.

2.2. Общий расход масла на систему, г/ч, рассчитывается по выражению

$$Q_o = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (3.30)$$

где n – число смазываемых узлов.

2.3. Объемный расход аэрозоля (масловоздушной смеси), м³/ч, вычисляется по формуле

$$V_t = \frac{Q_o}{k}, \quad (3.31)$$

где k – концентрация масла в аэрозоле, г/м³.

При работе генератора масляного аэрозоля с трубой Вентури $k = 4$ г/м³, вихревого – $k = 6$ г/м³.

Коагуляторы выбирают по объемному расходу аэрозоля при перепаде давления 0,03–0,04 МПа.

2.4. Проходное сечение трубопроводов принимают, м², равным

$$F_m = 3\,600 \frac{V_t}{v_a}, \quad (3.32)$$

где v_a – скорость аэрозоля в трубопроводе, $v_a \leq 7$ м/с.

2.5. Вентиляционные каналы объединяют в общую вентиляционную линию, конец которой погружают в емкость с маслом на глубину 150–200 мм.

Сечение вентиляционной линии определяют по расходу воздуха, м²:

$$F_B = 3\,600 \frac{V_B}{v_B}, \quad (3.33)$$

где V_B – расход сжатого воздуха, м³/ч,

$$V_B = \frac{8 \cdot Q_o}{10^{-3} \cdot \rho_B}, \quad (3.34)$$

где Q_o – общий расход масла на систему, г/ч; ρ_B – плотность сжатого воздуха, кг/м³; V_B – скорость сжатого воздуха в трубопроводе, $V_B = 1,5$ м/с.

Расчет систем пластичной смазки

3.1. Тип пластичной смазки выбирают в зависимости от условий среды, нагрузки, рабочей температуры узла по справочным таблицам.

3.2. Норму расхода пластичной смазки определяют, $\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ по формуле

$$q = q_{\min} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5, \quad (3.35)$$

где q_{\min} – минимальная норма расхода смазки для подшипников диаметром $d \leq 1\,000$ мм при угловой скорости вращения $W \leq 10 \text{ с}^{-1}$, $q_{\min} = 11 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; k_1 – коэффициент, учитывающий зависимость нормы расхода смазки от диаметра подшипников: для подшипников скольжения $k_1 = 1 + 4(d - 100) \cdot 10^{-3}$; для подшипников качения $k_1 = 1 + (d - 100) \cdot 10^{-3}$; k_2 – коэффициент, учитывающий число оборотов подшипника n (мин^{-1}), $k_2 = 1 + 4(d - 100)10^{-6}$; k_3 – коэффициент, учитывающий качество трущихся поверхностей, $k_3 = 1,0-1,3$; k_4 – коэффициент, учитывающий рабочую температуру подшипника t_p : при $t_p < 75 \text{ }^\circ\text{C}$ $k_4 = 1,2$; k_5 – коэффициент, учитывающий нагрузку на подшипник, $k_5 = 1,0-1,1$.

3.3. Объем пластичной смазки, периодически подаваемой питателем к подшипнику, вычисляют по формуле, см^3 ,

$$V = q \cdot F \cdot T, \quad (3.36)$$

где F – площадь контактной поверхности подшипника, м^2 ; T – период между двумя последовательными подачами смазки, ч; обычно $T = 0,4-2,0$.

По значению V выбирают тип питателя с большим ближайшим значением питателя по таблице.

3.4. При выборе питателей для плоских направляющих их условно заменяют подшипниками скольжения с длиной L , равной ширине плоской направляющей диаметром $D_y = L/\pi$ и частотой вращения:

$$n_y = \frac{60 \cdot V_{\text{отн}}}{\pi \cdot D_y} = \frac{60 \cdot V_{\text{отн}}}{L}, \quad (3.37)$$

где $V_{\text{отн}}$ – относительная скорость скольжения направляющих, м/с.

3.5. Количество пластичной смазки, расходуемое за один цикл работы системы, см^3 ,

$$Q_{\text{ц}} = \sum r_i \cdot V, \quad (3.38)$$

где r_i – число двухлинейных питателей данного типа; V – номинальная подача питателя за ход, см^3 ;

3.6. Число циклов работы системы в сутки

$$n_{\text{ц}} = \frac{24}{T}. \quad (3.39)$$

3.7. Суточный расход пластичной смазки, см³,

$$Q_c = Q_{ц} \cdot n_{ц}. \quad (3.40)$$

3.8. Необходимое число ЦСПС со станциями с ручным приводом при частоте перезарядки резервуара 1 раз в сутки определяют из выражения

$$N_p = \frac{Q_{ц}}{\alpha \cdot V_p}, \quad (3.41)$$

где α – коэффициент заполнения резервуара станции, $\alpha = 0,85-0,9$; V_p – объем резервуара, см³.

3.9. Производительность насоса автоматической ЦСПС, см³/мин,

$$P_{н.р} = \frac{Q_{ц}}{\beta \cdot T_n}, \quad (3.42)$$

где β – коэффициент, учитывающий снижение производительности при износе насоса, $\beta = 0,75-0,8$; T_n – время нагнетания смазки, $T_n = 5-20$ мин.

3.10. Число автоматических ЦСПС

$$N_a = \frac{P_{н.р}}{P_{н.ф}}, \quad (3.43)$$

где $P_{н.ф}$ – фактическая производительность насоса выбранной станции, см³/мин.

3.11. Диаметр условного прохода трубопроводов определяют, мм, по формуле

$$D_y = 5 + 0,4 \cdot L, \quad (3.44)$$

где L – длина трубопровода, м.

Смазочные материалы в современной практике эксплуатации горной техники играют основную роль в снижении трения между сопрягаемыми деталями и узлами, а следовательно, в увеличении их срока службы. Несмотря на существенные затраты, связанные с получением смазочных материалов, они приносят огромную экономическую выгоду за счет снижения материальных расходов на изготовление запасных частей и энергетических затрат на работу машин.

Правильный выбор и рациональное применение смазочных материалов являются приоритетным направлением в области повышения долговечности и работоспособности машин и оборудования.

4. РАЗРУШЕНИЕ И ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН

4.1. Виды разрушения и износа деталей и узлов

4.1.1. Общие сведения о разрушении

В процессе эксплуатации машин происходит разрушение деталей в результате взаимодействия их друг с другом, а также с твердыми, жидкими и газообразными средствами. Классификация видов разрушения может быть представлена следующим образом (рис. 4.1) [7, 8].



Рис. 4.1. Классификация видов разрушения деталей

Излом — полное разрушение детали в результате отдельного или совместного действия сил растяжения, сжатия, изгиба.

Вязкий излом происходит при напряжениях, превышающих предел текучести материала. Излом имеет волокнистую структуру со следами сдвига. Вязкое разрушение менее опасно, так как ему предшествует деформация. В результате оборудование может быть остановлено до поломки деталей, предупредив тем самым аварию. Предупредить вязкий излом можно, изготовив деталь из материала с повышенными механическими характеристиками, произвести термическое упрочнение, поверхностную пластическую деформацию.

Хрупкий излом происходит в результате возникновения ударной или статической нагрузки в опасном сечении детали. Хрупкому излому подвергаются в основном материалы, закаленные до высокой твердости. С целью предотвращения хрупкого излома применяют амортизирующие устройства, смягчающие удары, повышают прочность детали и т. д. Хрупкое разрушение имеет зернистую структуру с минимальной пластической деформацией.

Усталостные изломы происходят в результате длительной работы детали и возникают, как правило, вследствие повторно-переменных нагрузок в месте концентрации напряжений (резкие изменения сечения деталей, сварочные соединения, микротрещины, шлаковые включения и т. д.). Гладкая поверхность усталостного излома свидетельствует о медленном процессе разрушения, матовая и зернистая о быстром развитии трещины при малом числе циклов.

Деформация материала происходит в результате циклического либо постоянного действия контактных напряжений. В горных машинах в основном можно наблюдать остаточную деформацию, которая не разрушает деталь, но нарушает ее нормальную работу. Остаточная деформация появляется на валах, соединяющих ковш с рукоятью экскаватора, при взаимодействии катков с венцом опорно-поворотного круга и т. д.

4.1.2. Общие сведения об изнашивании

Изнашивание механическое возникает в результате механического воздействия сопряженных деталей друг на друга. Это основной метод изнашивания, оказывающий самое большое влияние на эксплуатационную надежность машины.

Коррозионно-механическое изнашивание происходит в сопровождении с химической или электрической средой. Такому виду изнашивания подвергаются насосы водоотлива при откачке химически агрессивных сред, электрические контакты выключателей и т. д.

Абразивное – механическое изнашивание в результате воздействия породы на деталь, например, на буровой инструмент, нож отвала бульдозера, зуб ковша экскаватора и т. д.

Гидроабразивное – изнашивание в результате действия твердых частиц и жидкости.

Эрозионное – изнашивание в результате воздействия потока жидкости и (или) газа.

Усталостное – изнашивание в результате усталостного разрушения из-за высоких контактных напряжений.

Изнашивание при заедании – изнашивание в результате схватывания материала и переноса его с одной поверхности на другую (зубчатые колеса).

Изнашивание при фреттинге – механическое изнашивание сопряженных поверхностей в результате длительного взаимодействия при малых колебательных относительных перемещениях.

Изнашивание также делят на моральное (моральный износ) и физическое (физический износ).

Моральный износ обусловлен старением, несовершенством конструкции деталей или машины в целом.

Физический износ делят на нормальный (естественный) и аварийный (преждевременный).

Для механика чрезвычайно важно уметь различать виды разрушений, устанавливать причины их появления, а при ремонте применять такую технологию восстановления, которая способствовала бы снижению интенсивности этих разрушений.

4.2. Трение и механическое изнашивание

4.2.1. Механическое изнашивание (износ)

Износ происходит в результате перемещения одной детали относительно другой вследствие шероховатости их поверхности.

Износ может быть линейным, массовым и объемным. Износ характеризуется скоростью изнашивания:

$$L = \frac{\Delta L}{t}, \text{ мм/с}, \quad m = \frac{\Delta m}{t}, \text{ г/с}, \quad V = \frac{\Delta V}{t}, \text{ мм}^3/\text{с},$$

где L , m , V – соответственно, скорость износа линейного, массового и объемного; ΔL , Δm , ΔV – величины износа, мм, г, мм³; t – время работы сопряжения, с.

Величина, обратная скорости изнашивания, называется износостойкостью. Износ деталей возрастает пропорционально времени эксплуатации

машины. Кривая износа сопряженных деталей имеет 3 участка, характеризующих 3 периода работы машины (рис. 4.2).

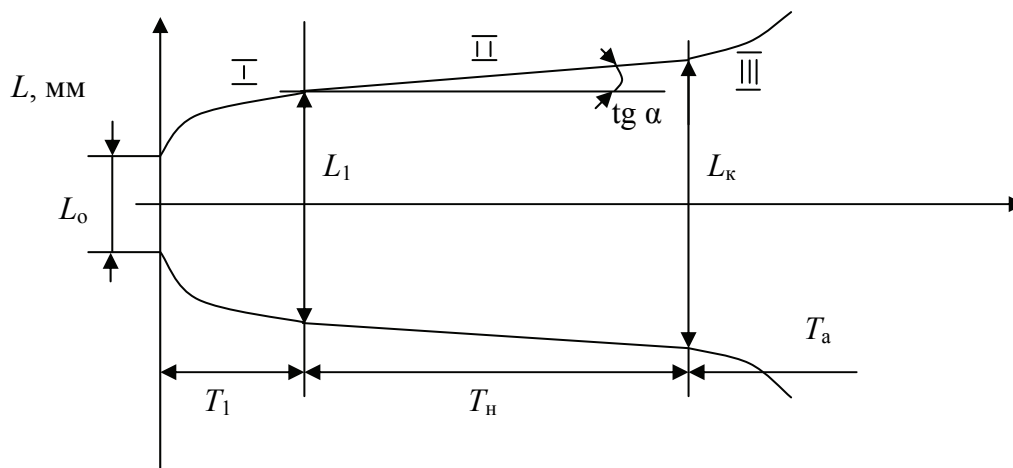


Рис. 4.2. Диаграмма механического изнашивания сопрягаемых деталей

Основным периодом является второй, продолжительность которого определяется по формуле

$$T_H = \frac{L_K - L_1}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \text{ ч,}$$

где

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{u}{T_H},$$

Нормальный период работы узла зависит от того, как проведена обкатка, т. е. от величины L_1 , а также от конструкторских особенностей, т. е. от величины L_0 и L_K .

Коэффициент $\operatorname{tg} \alpha$ зависит от материала, чистоты обработки поверхностей, качества смазки, нагрузки и т. д.

Кривые износа получают на стендовых испытаниях наиболее ответственных узлов.

Предельный зазор соответствует предельному износу, характеризующему предельное состояние машины.

Допустимый зазор соответствует допустимому износу, характеризующему состояние машины, при котором она еще сохраняет работоспособность.

4.2.2. Виды трения и интенсивность изнашивания

Изнашивание деталей машин и оборудования в значительной степени зависит от вида трения.

В зоне контакта любого узла трения может возникнуть сухое трение, граничное, смешанное и жидкостное. Вид трения зависит от условий смазывания сопряжений.

Сухое трение происходит при полном отсутствии смазки в местах контакта деталей. Такой вид наблюдается в различных тормозных системах, фрикционных передачах.

Граничное трение характеризуется наличием между взаимодействующими деталями смазочного слоя, толщиной до 10 мкм. Такой вид наблюдается в подшипниках качения, в зубчатых передачах.

Смешанное трение возникает в тех случаях, когда смазочный слой несет основную нагрузку, но не полностью разделяет трущиеся детали. Такой вид трения может возникать при взаимодействии поверхностей с низкой чистотой обработки, при малой скорости перемещения одной детали относительно другой.

Жидкостное трение возникает в том случае, когда смазочный слой полностью предохраняет сопрягаемые поверхности от контакта между собой. Такой вид трения возникает, например, в подшипниках скольжения с высокой частотой вращения при невысоких контактных нагрузках. Критерием оценки видов трения является коэффициент трения. Закон, согласно которому сила трения прямо пропорциональна нагрузке, открыл Леонардо да Винчи:

$$F = f \cdot N, \quad \text{откуда} \quad f = \frac{F}{N}.$$

Леонардо да Винчи считал, что $f = 0,25$.

Трение для нас может быть как полезным, так и вредным. Без трения невозможна работа многих механических передач. Во всем мире идет борьба за увеличения коэффициента трения колесного транспортера с дорогой, которое повышает тяговую способность и увеличивает эффективность торможения.

В то же время в мире идут постоянные поиски уменьшения влияния трения на интенсивность изнашивания. Для снижения трения в мире расходуется более 100 млн т смазочных материалов ежегодно. Потери средств в машиностроении вследствие износа и трения достигают 4–5 % национального дохода. По оценкам специалистов сопротивление трения поглощает во всем мире 30–40 % вырабатываемой энергии.

Исследования показывают, что 80–90 % отказов машин происходит из-за износа узлов и деталей машин. За полный цикл эксплуатации машин эксплуатационные расходы, трудоемкость ремонта и затраты материалов на ремонт в несколько раз превышают затраты на изготовление новых машин. Ремонтом оборудования в развитых странах занято около 30 % общего числа рабочих и примерно такая же часть станочного парка. На ремонт расходуется 1/5 часть всего выплаваемого металла.

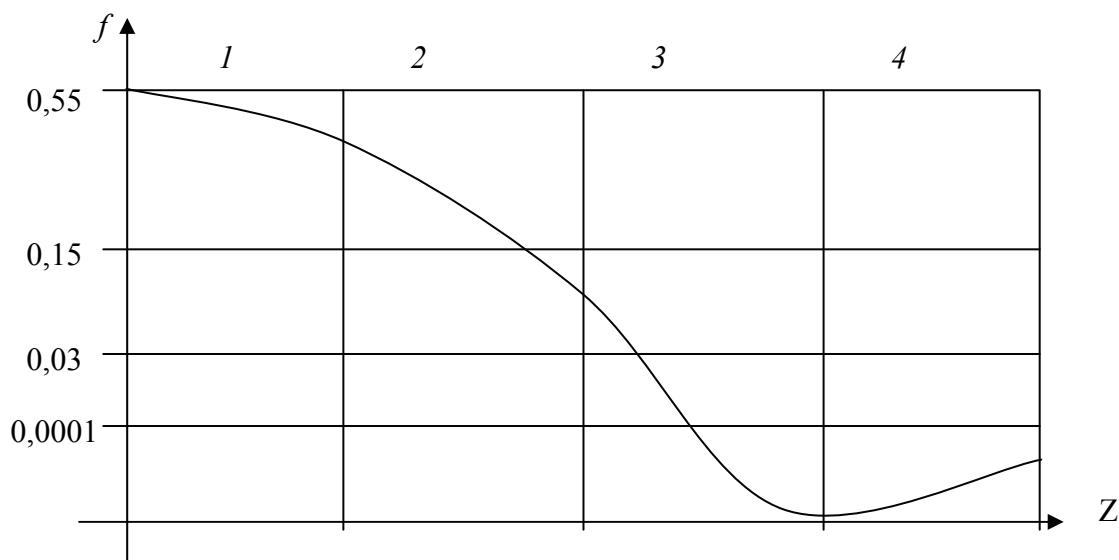


Рис. 4.3. Изменение коэффициента трения в зависимости от его вида: 1 – сухое трение; 2 – граничное трение; 3 – смешанное трение; 4 – жидкостное трение

Такие значительные расходы связаны с проблемами трения, изнашивания и износостойкости. Трение может характеризоваться, как уже было сказано, коэффициентом трения, который в зависимости от его вида, может изменяться следующим образом (рис. 4.3): $f = 0,0001–1,0$.

4.3. Изнашивание и расчет срока службы основных деталей и узлов

Трудоемкость ремонта деталей машин в 5 и более раз выше, чем изготовление новой детали, вследствие малой механизации процесса ремонта. Поэтому износостойкость деталей играет важную роль в увеличении ремонтного цикла машин.

Для прогнозирования износостойкости деталей, особенно при проектировании и изготовлении новых деталей, важное место занимают расчеты на износ и долговечность узлов.

Износ деталей происходит в результате микронеровностей. При скольжении деталей относительно друг друга происходит следующий механизм изнашивания (рис. 4.4).

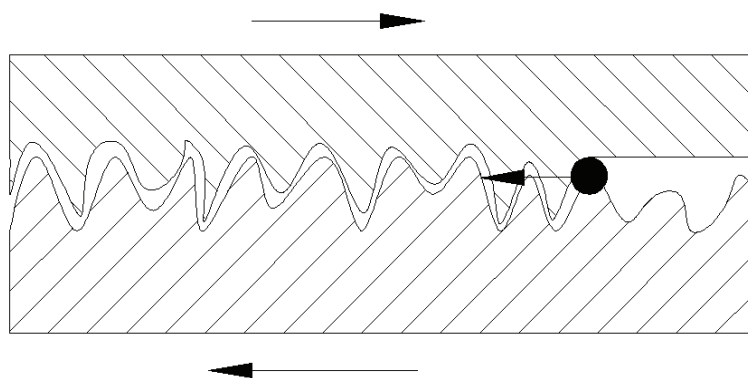


Рис. 4.4. Изнашивание деталей при скольжении относительно друг друга

Впереди движущейся детали 1 относительно детали 2 на последней возникает лобовой валик 3, который находится под воздействием сжимающих напряжений. За ним вследствие сил трения материал растягивается, т. е. на него действует растягивающая сила, перемещающаяся вслед за движущейся деталью. Таким образом, контактирующие поверхности постоянно находятся под знакопеременными нагрузками. В растягивающих зонах возникают микротрещины, в которые попадают продукты износа. В конечном счете наступает интенсивное изнашивание.

Приведенное напряжение на контакте, при котором происходит отделение частиц износа, определяется по формуле

$$\sigma_{\text{пр}} = k \cdot f_m \cdot P_{\text{ч}},$$

где k – коэффициент, характеризующий напряженное состояние, $k = 5$ для хрупких материалов, $k = 3$ для эластичных материалов; f_m – молекулярная составляющая коэффициента трения; $P_{\text{ч}}$ – фактическое давление в месте контакта, Па.

Износ обычно характеризуют линейной интенсивностью изнашивания (рис. 4.2):

$$I = \frac{u}{T_{\text{н}}} = \text{tg } \alpha.$$

4.3.1. Изнашивание подшипников и расчет их срока службы

Износ подшипников скольжения и расчет их срока службы

К расчету износа составим схему жидкостного трения сопряжения вал-подшипник (рис. 4.5).

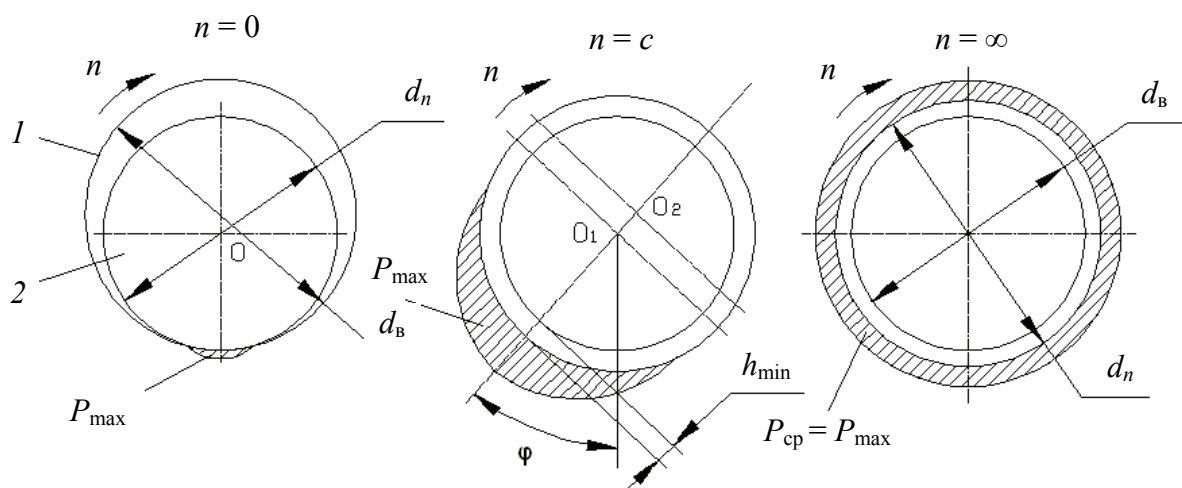


Рис. 4.5. Схема жидкостного трения сопряжения вал-подшипник

При вращении вала 2 в подшипнике 1 масляная жидкость за счет сил сцепления вовлекается во вращение, устремляясь в клиновидный зазор между валом и подшипником. При увеличении частоты вращения n вал «всплывает» в подшипнике и смазочный материал разделяет сопрягаемые поверхности слоем, равным, согласно гидродинамической теории трения Н. П. Петрова,

$$h_{\min} = \frac{\eta \cdot n \cdot d^2 \cdot c}{18,36 \cdot S \cdot P}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

где h_{\min} – минимальная толщина слоя смазки, м; η – динамическая вязкость масла, Па·с; n – частота вращения вала, с^{-1} ; d – диаметр вала, м; c – коэффициент длины подшипника, $c = \ell/d + \ell$; ℓ – длина подшипника, м; S – средний зазор в сопряжении, при $n \rightarrow \infty$, м

$$S = 2r_n - 2r_B;$$

P – удельное давление на вал, Па.

Оптимальный зазор для сопряжения вала-подшипника равен

$$S_{\text{опт}} = 4 \cdot h_{\text{мин}} = \frac{4 \cdot \eta \cdot n \cdot d^2 \cdot c}{18,36 \cdot S \cdot P}, \text{ м}, \quad (4.2)$$

откуда

$$S_{\text{опт}} = 0,476 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot n \cdot c}{P}}, \text{ м}. \quad (4.3)$$

Максимальный зазор определяется через $S_{\text{опт}}$. При $n > 300 \text{ мин}^{-1}$

$$S_{\text{max}} = \frac{S_{\text{опт}}^2}{4 \cdot \delta}, \text{ м}, \quad (4.4)$$

где δ – величина, зависящая от шероховатости поверхности подшипника и вала,

$$\delta = \delta_1 + \delta_2, \text{ м}, \quad (4.5)$$

где δ_1, δ_2 – микронеровности вала и подшипника соответственно. Для большинства нормально приработавшихся поверхностей подшипников скольжения

$$\delta_1 + \delta_2 = 0,004, \text{ м},$$

тогда

$$S_{\text{max}} = \frac{S_{\text{опт}}^2}{4 \cdot (\delta_1 + \delta_2)} = 62,5 \cdot S_{\text{опт}}. \quad (4.6)$$

В соединениях, работающих с частотой вращения менее 300 об/мин, жидкостное трение обеспечено быть не может, поэтому в таких случаях можно принимать

$$S_{\text{max}} = (2 - 3) \cdot S_{\text{опт}} = (8 - 12) \cdot h_{\text{мин}}. \quad (4.7)$$

Срок службы подшипников скольжения может быть рассчитан по формуле

$$T_{\text{н}} = \frac{L_{\text{к}} - L_1}{2 \cdot \text{tg } \alpha}, \text{ ч}, \quad (4.8)$$

если известна по ряду конечных замеров интенсивность изнашивания:

$$I = \operatorname{tg} \alpha = \frac{U}{T_{\text{н}}}, \text{ м/ч.} \quad (4.9)$$

Износ подшипников качения и расчет их срока службы

В процессе работы подшипников качения в связи с переменным характером нагружения беговых дорожек и катящихся элементов (шариковых, роликовых, игольчатых) на их поверхности, вследствие усталости материала возникают повреждения, сначала в виде мелких точек, пятен, которые потом образуют раковины и трещины и в конечном счете могут вывести подшипник из строя.

При замене подшипника важно знать его срок службы применительно к конкретным условиям работы.

Соотношение между нагрузкой, частотой вращения и сроком службы подшипника выражается следующей зависимостью:

$$Q(n \cdot T)^{0,3} = c, \quad (4.10)$$

где Q – полная условная нагрузка на подшипник, Н; n – частота вращения, мин^{-1} ; T – срок службы подшипника, ч; c – коэффициент работоспособности подшипника, зависящий от конструкции, внутренних размеров и качества материала подшипника. Принимается по справочнику.

Определим по выражению (4.10) срок службы подшипника:

$$T = \frac{1}{n} \cdot 0,3 \sqrt[0,3]{\frac{c}{Q}}. \quad (4.11)$$

Условную нагрузку можно вычислить по формуле

$$Q = (R + m \cdot A) k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (4.12)$$

где R – фактическая радиальная нагрузка, Н; A – фактическая аксиальная нагрузка, Н; m – коэффициент перевода нагрузки A в R (для разных серий $m = 1,5-5,0$); k_1 – коэффициент, учитывающий влияние характера нагрузки: $k_1 = 1$ при спокойной постоянной нагрузке (шахтные вентиляторы, вентиляторы воздушного охлаждения и др.), $k_1 = 1,5$ при нагрузке со слабыми толчками (лебедки, головные и подъемные блоки экскаваторов и др.), $k_1 = 2$ при значительных толчках и вибрациях (дробилки, приводы при пусковых нагрузках 200 %), $k_1 = 3$ при очень сильных толчках и вибрациях (грохота,

механизмы подъема и напора экскаватора и др.), k_2 – коэффициент, учитывающий, какое кольцо подшипника вращается (при вращении внутреннего кольца $k_2 = 1,1$; наружного $k_2 = 1,45$); k_3 – коэффициент, учитывающий влияние температуры, возникающей в результате работы подшипника: $k_3 = 1,05$ при рабочей температуре подшипника $t = 125$ °С, $k_3 = 1,5$ при $t = 250$ °С.

Подставив выражение (3.12) в (3.11), получим

$$T = \frac{1}{n} \cdot 0,3 \sqrt{\frac{c}{(R + m \cdot A) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}}, \text{ ч.} \quad (4.13)$$

Если известен тип выбранного подшипника, нагрузки, то можно выбрать работоспособность c , а затем рассчитать срок службы.

Ориентировочный срок службы упорного подшипника определяется по формуле

$$T = \frac{1}{n} \cdot 0,3 \sqrt{\frac{c}{A \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}}, \text{ ч.} \quad (4.14)$$

Значения коэффициентов n , k_1 , k_2 , k_3 приводятся в справочниках. Приблизительно коэффициент c для подшипников радиальных однорядных и двухрядных сферических можно вычислить по выражению

$$c = \frac{60 \cdot z^{0,7} \cdot \delta}{\frac{1}{\delta} + 0,02}, \quad (4.15)$$

где z – число шариков (для сферических подшипников в одном ряду); δ – диаметр шарика.

Для роликовых подшипников с короткими цилиндрическими роликами ($\ell/d = 1-2$)

$$c = 55 \cdot z^{0,7} \cdot \delta \cdot \ell, \quad (4.16)$$

где ℓ – длина ролика.

Признаком износа подшипников может служить повышенный шум во время их работы. Нормальный шум в исправном подшипнике легко звенящий. При изнашивании шум становится дребезжащим с явно выраженными ударами.

4.3.2. Изнашивание зубчатых колес и расчет их срока службы

Основной причиной выхода из строя зубчатых колес является износ зубьев. В результате нарушается правильность зацепления, растет боковой зазор между зубьями, работа передачи при зацеплении сопровождается толчками, шумом. В результате может произойти заклинивание зубчатой передачи, что, возможно, приведет к поломке других деталей механизма.

В зубчатых колесах с цементированными зубьями цементированный слой составляет 1 мм, поэтому износ зуба не должен превышать 0,8 мм.

Предельный износ зубьев шестерен, у которых окружная скорость $V < 3$ м/с, принимается равным $\Delta = (0,1-0,24) \cdot m$, мм.

Для зубчатых колес, работающих с окружной скоростью $V > 3$ м/с, износ принимают равным $\Delta = (3-10) \%$ толщины зуба, где m – модуль нормальных зубчатых колес, мм,

$$m = \frac{d}{z}, \quad (4.17)$$

где d – диаметр начальной окружности зубчатого колеса, мм; z – число зубьев на колесе.

Износ зуба зубчатого колеса определяется по выражению

$$\Delta = \frac{c \cdot T \cdot N_{\text{тр}}}{F}, \quad (4.18)$$

где c – коэффициент изнашивания зуба, зависящий от материала зуба и состояния поверхности трения, $\text{м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ (принимается по справочнику), $c = 11-92$; T – продолжительность работы передачи, ч; $N_{\text{тр}}$ – мощность, затрачиваемая на трение, кВт; F – площадь рабочей поверхности всех зубьев, м^2 .

Из выражения (4.18) определим продолжительность работы передачи, т. е. срок службы:

$$T = \frac{\Delta \cdot F}{c \cdot N_{\text{тр}}}. \quad (4.19)$$

Для зубчатых колес горных машин обычно принимают $\Delta = (0,1-0,24) \cdot m$ либо по уже указанным выше параметрам.

Полная рабочая поверхность всех зубьев одного цилиндрического зубчатого колеса равна

$$F = 2 \cdot h_a \cdot b \cdot z, \text{ мм}^2, \quad (4.20)$$

где h_a – высота головки зуба, мм; b – ширина зуба, мм.

Из теории машин и механизмов известно, что

$$N_{\text{тр}} = \frac{2 \cdot h_a \cdot f \cdot N}{m \cdot \sin 2\alpha} \cdot \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right), \text{ кВт}, \quad (4.21)$$

где f – коэффициент трения, зависящий от материала, условий смазки, чистоты рабочей поверхности: чугун по чугуну без смазки f равен 0,18; чугун по чугуну со смазкой $f = 0,1-0,13$; для стали со смазкой $f = 0,03-0,05$; N – средняя мощность, передаваемая зубчатым колесом, кВт; α – угол зацепления, град; z_1, z_2 – число зубьев колес, входящих в зацепление; плюс берется при внешнем зацеплении, минус – при внутреннем.

С учетом выражений (4.17) – (4.21) срок службы зубчатых колес равен

$$T = \frac{\Delta \cdot 2h_a \cdot b \cdot z \cdot m \cdot \sin 2\alpha}{c \cdot 2h_a \cdot f \cdot N \cdot \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right)}, \text{ ч.}$$

Так как $d = m \cdot z$, то

$$T = \frac{\Delta \cdot b \cdot d \cdot \sin 2\alpha}{c \cdot f \cdot N \cdot \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right)}, \text{ ч.} \quad (4.22)$$

Расчеты показывают, что срок службы зубчатых колес повышается с увеличением их размеров (диаметра и ширины зуба) и уменьшается с увеличением коэффициента трения и передаваемой мощности.

4.3.3. Изнашивание поршней и цилиндров

Изнашивание происходит при некачественной или недостаточной смазке, во время перегрузок, применения горючего низкого качества, а в поршневых компрессорах – при попадании в цилиндр пыли вместе с засасываемым воздухом. Износ поршней и цилиндров носит следующий характер (рис. 4.6).

Интенсивное изнашивание наблюдается как по длине цилиндра и колец поршня, так и по их окружности.

В результате газа или сжатого воздуха поршень перемещается вниз и одновременно оказывает большее давление на правую часть цилиндра вследствие работы колено-шатунной системы. Поэтому в этот период пра-

вая сторона изнашивается больше. И наоборот, при движении поршня вверх он оказывает большее давление на левую сторону цилиндра. В результате цилиндр и кольца становятся овальными. В этот зазор проникают отработанные газы (либо сжатый воздух из компрессора) в картер, ухудшая качество смазочного масла.

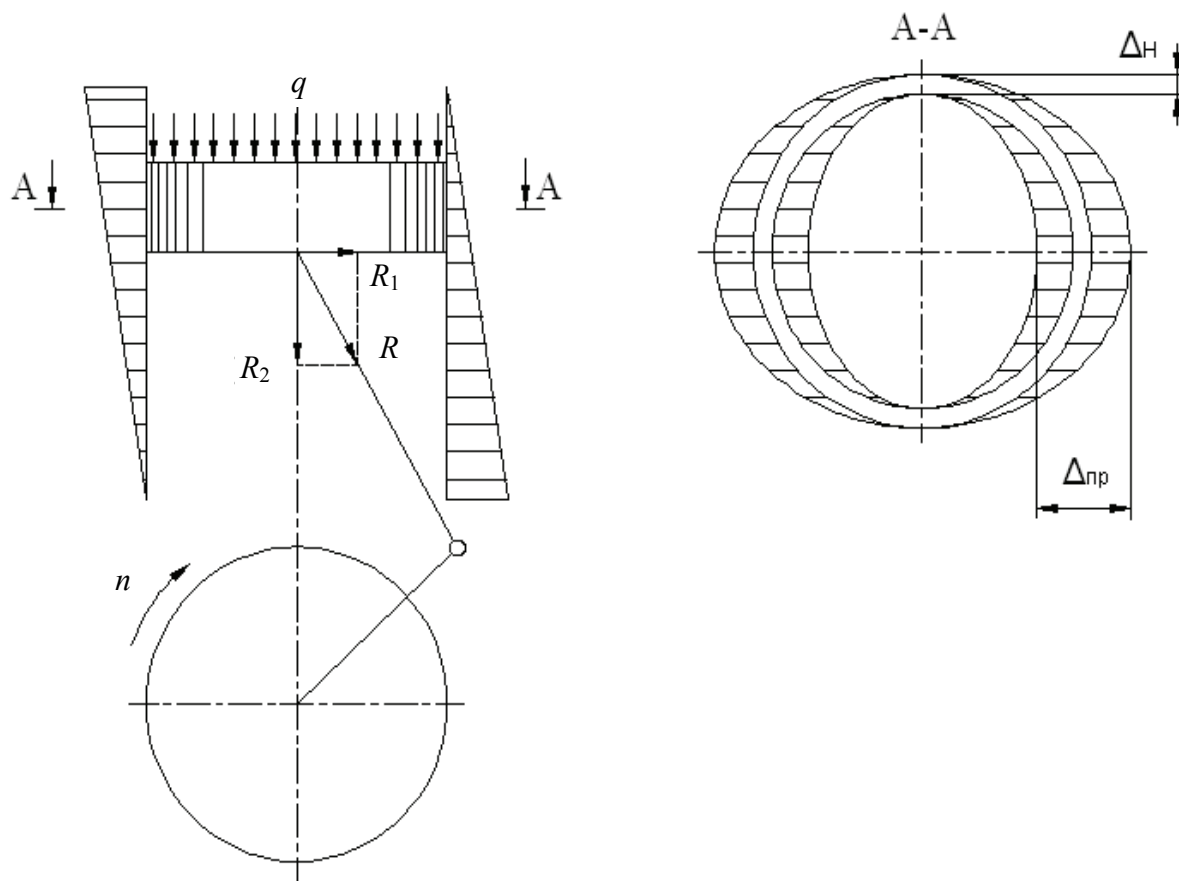


Рис. 4.6. Характер износа поршневой группы: Δ_n – нормальный зазор; $\Delta_{пр}$ – предельно допустимый зазор

Допускаемый износ цилиндра на практике вычисляют по формуле

$$\Delta = f \cdot D, \text{ мм}, \quad (4.23)$$

где f – коэффициент изнашивания, $f = 0,002-0,003$ – для определения допустимого износа по окружности, $f = 0,001-0,002$ – для определения предельной овальности цилиндра, $f = 0,001$ – для определения предельной конусности.

В процессе работы также изнашиваются канавки в поршне, стенки поршня, появляются трещины в поршне. Наибольшему изнашиванию под-

вергаются крайние кольца. В результате этого между кольцами и цилиндром образуется зазор. Нормальный зазор определяется по формуле

$$\Delta_n = \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot t, \text{ мм}, \quad (4.24)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала; t – рабочая температура, °С; D – диаметр цилиндра, мм.

Обычно $\alpha = 0,0001$, $t = 100\text{--}200$ °С, тогда

$$\Delta_n = (0,003 - 0,004) \cdot D, \text{ мм}. \quad (4.25)$$

Видно, что величина нормального зазора между поршнем и цилиндром в основном зависит от диаметра цилиндра.

4.3.4. Изнашивание резьбовых и шлицевых соединений

Износ резьбовых соединений

В резьбовых механизмах (винтах подачи, домкратах) для достижения нужной износостойкости рассчитывают удельное давление в зоне контакта витков резьбы. Это удельное давление сравнивают с допустимым удельным давлением, исключающим из соединения выдавливание смазки:

$$P_a = \frac{F \cdot P}{\frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot H \cdot n} \leq [P_a], \quad (4.26)$$

где F – осевая нагрузка на винт, Н; P – шаг резьбы, м; d , d_1 – наружный и внутренний диаметр резьбы, м; H – высота гайки, м (высота резьбы); n – количество болтов; $[P_a]$ – допустимое удельное давление, для пары сталь – бронза $[P_a] = 12$ МПа. При малых скоростях скольжения $[P_a] = 20$ МПа.

Если $P > [P_a]$, то уменьшают осевую нагрузку либо изменяют параметры резьбы (P , d и d_1 , H).

Износ шлицевых соединений

Износостойкость учитывается следующей зависимостью:

$$\sigma = \frac{M \cdot K_{\text{кн}}}{S \cdot \ell} \leq [\sigma]_{\text{изн}}, \text{ Па}, \quad (4.27)$$

где M – наибольший крутящий момент, Н·м; S – площадь рабочих поверхностей соединений относительно вала, м; ℓ – рабочая длина соединения, м;

$K_{кн}$ – коэффициент концентрации нагрузки; $[\sigma]_{изн}$ – допустимое напряжение по износу, Па.

Практически можно применить $\Delta = (0,05–0,08) \cdot b$, мм, где b – ширина прямооточного зуба, мм; Δ – износ червячной передачи.

Износостойкость зубьев червячного венца глобоидальной передачи может быть оценена допустимой скоростью изнашивания:

$$\Delta = \frac{[u]}{60 \cdot T \cdot n} \leq 5 \cdot 10^{-10} \cdot a_{\omega}, \text{ мм/об}, \quad (4.28)$$

где $[u]$ – предельно допустимый износ, мм (0,1–0,3 мм); T – установленный практически срок службы передачи, ч; n – частота вращения колеса, об/мин; a_{ω} – межосевое расстояние, мм.

Статический анализ разрушений деталей в механизмах и узлах машин и оборудования позволяет сделать следующие выводы.

1. Основной причиной разрушения деталей в машинах является изнашивание, виды которого разнообразны и зависят от условий эксплуатации техники, характера нагрузок и физико-механических свойств материалов, из которых эти детали изготовлены.

2. Наибольшее число отказов машин происходит вследствие механического изнашивания, которое имеет три основных этапа в эксплуатации техники: приработки, нормального периода работы и аварийного режима.

3. На срок работы деталей значительное влияние оказывают виды трения. При работе сопрягаемых деталей предпочтительным видом трения является жидкостное и полужидкостное по причине обеспечения наиболее низких коэффициентов трения.

4. Основными факторами, влияющими на срок службы машин, являются характер нагрузок на детали и узлы, условия эксплуатации и действие смазочных материалов.

5. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

5.1. Основные методы измерения и контроля изнашивания деталей и механизмов

Объективным способом оценки необходимости проведения того или иного вида технического обслуживания или ремонта машины является диагностический контроль за техническим состоянием деталей и узлов, осуществляемый различными методами и средствами технической диагностики. Техническое диагностирование при эксплуатации машин обеспечивает проверку их исправности, работоспособности, поиск дефектов и сбор информации для прогнозирования остаточного ресурса.

Основное назначение диагностики – определение технического состояния машины (детали, узла, механизма) в данный момент времени с минимальным объемом разборки (или без неё).

Цель диагностирования определяется видом технической диагностики: для заводской диагностики – это оценка качества изделия после изготовления (капитального ремонта); для эксплуатационной – оценка основных рабочих параметров, выявление скрытых неисправностей, определение объёма работ по техническому обслуживанию и ремонту, а также прогнозирование ресурса.

Эффективность диагностирования обеспечивается своевременным обнаружением и устранением неисправных состояний деталей и узлов машины; исключением необоснованных разборно-сборочных работ, что сохраняет ресурс объектов диагностики; достижением более полной выработки ресурса; работой машины в режиме, близком к оптимальному, что повышает её производительность, снижает расходы материалов и электроэнергии; повышением безопасности работ благодаря своевременности получения информации о техническом состоянии машины и предупреждения аварий.

Техническая диагностика горной техники развивается в следующих направлениях: разработка новых и применение известных методов диагностирования; создание внешних диагностических приборов и устройств для эксплуатационной диагностики машин, позволяющих выявить неисправности и определить потребность в техническом обслуживании и ремонте; создание диагностических устройств, встроенных непосредственно в машину и предназначенных для постоянного контроля технического состоя-

ния деталей и узлов; разработка технологии диагностирования; разработка нормативно-технической документации по диагностике машин.

Для диагностирования горной техники нашли применение следующие параметры и методы диагностирования: для механических систем – тепловые, виброакустические, по зазорам, герметичности уплотнений, содержанию продуктов износа в смазке; для гидропривода – по объемному КПД и подаче, параметрам давления в системе, частоте вращения и линейным перемещениями, температуре рабочей жидкости и виброакустическим параметрам, герметичности рабочих объемов; для электрооборудования – по сопротивлению изоляции между фазами и по отношению к земле, коэффициенту абсорбции, напряжению питания и току нагрузки, потребляемой энергии, частоте вращения, переходному сопротивлению силовых контактов, тепловые и виброакустические; для аппаратуры автоматизации – контрольные тесты.

Ниже рассмотрены универсальные методы и средства технической диагностики, нашедшие применение для механических систем, гидроприводов и электрооборудования горной техники.

5.1.1. Методы измерения изнашивания деталей и механизмов

Различают следующие методы изнашивания элементов машин:

1. Метод микрометрирования: измерение линейных размеров деталей с помощью измерительных средств (микрометров, штангельциркулей, индикаторов).

2. Метод взвешивания. Применяют, когда линейные измерения невозможны ввиду сложной конфигурации детали. Потери по массе говорят об износе детали.

3. Метод профилографирования. Используют прибор профилограф. До износа на поверхность наносится царапина. Затем записывается профилограмма. После износа она наносится на царапину, записывается новая профилограмма и вычисляется линейный износ h (рис. 5.1).

4. Метод вырезания лунок. На поверхности, например, цилиндра, вырезается лунка. Измеряются ее размеры до износа и после. Абсолютный износ будет равен $\Delta \ell = h_1 - h_2$.

5. Визуальный метод. Это внешний осмотр. Для внутренних поверхностей применяют визуоскоп: трубу с подсветкой и системой зеркал и увеличительных стекол.

6. Метод измерения зазоров, температуры и давления. Зазоры измеряют щупами, температуру – термометрами и термопарами, давление – манометрами.

7. Акустический метод. Улавливают звуки, отличные от нормальной работы, либо на слух, либо с помощью стетоскопа.

8. Метод контроля продуктов износа в масле. Из масла периодически отбирают пробы и определяют в них содержание продуктов износа – частиц. Зная количество циркулирующего в системе масла, определяют общие потери массы деталей.

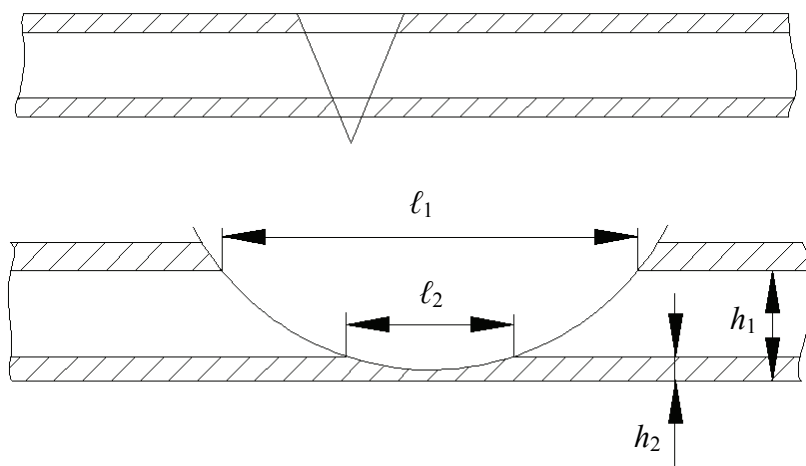


Рис. 5.1. Профилограмма и лунки

9. Метод радиоактивных изотопов. Радиоактивный изотоп внедряют в деталь на контролируруемую толщину. При наступлении износа радиоактивное излучение улавливают счетчиками Гейгера. Износ измеряют либо по накоплению продуктов изнашивания в масле, либо на фильтрах.

10. Метод ароматической диагностики позволяет определять износ по запаху, например, при внедрении внутрь детали ампулы с характерным запахом.

11. Метод использования световодов. Используется светокабель, имеющий внешнюю оболочку, внутри которой находится множество световолокон с отличным от внешней оболочки коэффициентом преломления.

5.1.2. Основные методы контроля изнашивания деталей и механизмов

В основе контроля технического состояния машин и механизмов находится диагностика, составной частью которой является дефектоскопия деталей.

Во время ремонта машин и их разработки детали осматривают с целью определения степени их износа и дальнейшей пригодности.

Критерием оценки степени износа являются предельно допустимые размеры детали.

Дефектация деталей происходит следующим образом. Детали делят на 3 группы:

- годные к дальнейшей эксплуатации (их помечают зеленой краской);
- детали, подлежащие ремонту и восстановлению (их маркируют либо цифрами, либо красками различных цветов, в зависимости от вида ремонта и восстановления);
- детали, не подлежащие ремонту и восстановлению: выработавшие свой ресурс работы (их помечают красной краской и сдают в металлолом).

Различают следующие методы дефектоскопии деталей:

1. Ультразвуковая дефектоскопия;
2. Магнитоакустическая дефектоскопия;
3. Рентгеновская дефектоскопия;
4. Гамма-дефектоскопия;
5. Люминесцентная дефектоскопия;
6. Дефектоскопия керосином или маслом;
7. Электромагнитная дефектоскопия.

Рассмотрим общую характеристику основных методов дефектоскопии деталей.

Ультразвуковая дефектоскопия. Она основана на контроле детали ультразвуковыми волнами с частотой до 10 МГц в металлах, пластмассах и др. Ультразвуковые волны проникают почти без затуханий, однако на границе «материал–воздух» почти полностью отражаются. Ультразвуком в различных материалах можно обнаружить дефект (раковину, пустоту, трещину) на глубине до 10 м и более (рис. 5.2).

Импульсный дефектоскоп работает следующим образом. Генератор 1 вырабатывает электрические импульсы, которые подаются через экранированный кабель 9 в головку 8, где преобразуются за счет кварцевых пластин или титаната бария в ультразвуковые колебания. Эти ультразвуковые колебания проникают внутрь исследуемой детали 5. Отражаясь от дефекта 6, они попадают на приемную головку 7, где, наоборот, преобразуются в электрические импульсы. Эти импульсы усиливаются в усилителе тока 4 и далее поступают на осциллоскоп. На экране осциллоскопа в случае дефекта будут видны два пика А и Б. А – пик, образуемый от дефекта, Б – пик, образуемый от отражения ультразвуковых волн от края детали.

Магнитоакустическая дефектоскопия. Дефектуемая деталь 1 слабо намагничивается, в результате чего через нее проникают магнитные силовые линии (МСЛ), если имеется дефект 6, то магнитные силовые линии МСЛ изменяют прямолинейное положение, что улавливается специальной головкой 3. Изменение МСЛ усиливается в усилителе 4 и передается в акустический аппарат, например, в телефонную трубку 5. При отсутствии де-

фекта в трубке слышно монотонное жужжание, а при наличии дефекта – треск, резкие звуки.

Схема магнитоакустического дефектоскопа включает (рис. 5.3): 1 – исследуемую деталь; 2 – катушки с противоположно намотанными витками; 3 – головку-индикатор; 4 – акустический аппарат; 5 – дефект; 6 – магнитные силовые линии.

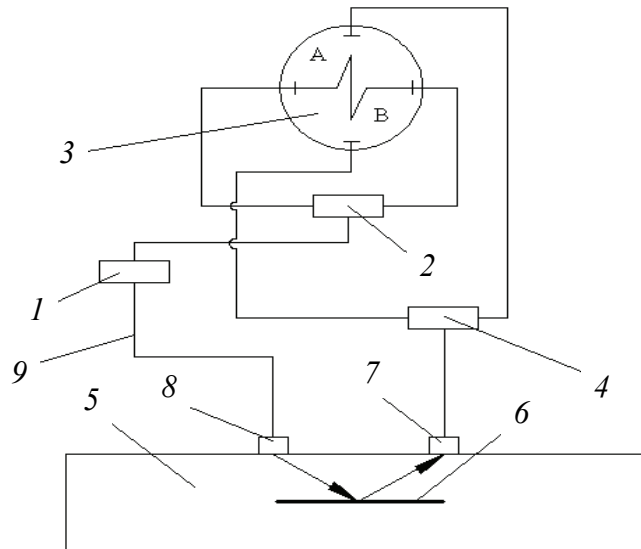


Рис. 5.2. Схема импульсного ультразвукового дефектоскопа: 1 – источник импульсов тока; 2 – генератор развертки; 3 – осциллоскоп; 4 – усилитель тока; 5 – дефектуемая деталь; 6 – дефект; 7 – приемная головка; 8 – головка-преобразователь; 9 – экранированный кабель

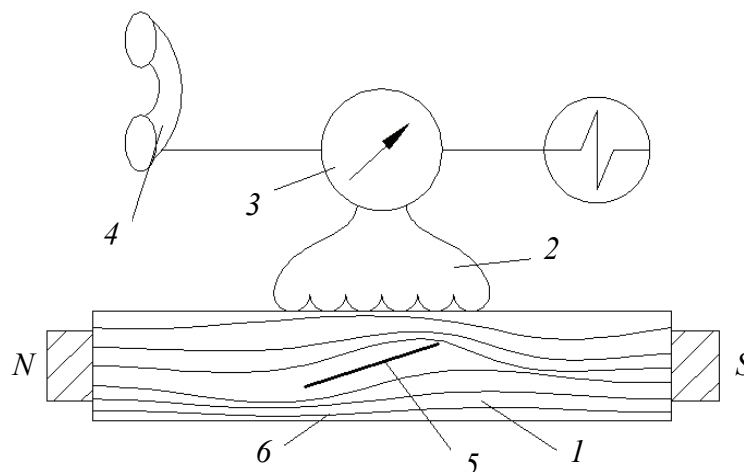


Рис.5.3. Схема магнитоакустического дефектоскопа

Применяется она при контроле вагонных осей, рельсов, подъемных канатов, экскаваторов.

Рентгеновская дефектоскопия. Она основана на просвечивании детали рентгеновскими лучами с последующей фиксацией на пленке. Применяется в основном при контроле сварных швов и деталей из легких сплавов, толщиной до 50–60 мм.

Гамма-дефектоскопия. Для гамма-дефектоскопии используют радиоактивные изотопы кобальта 60, тантала 182, цезия 137 (рис.5.4).

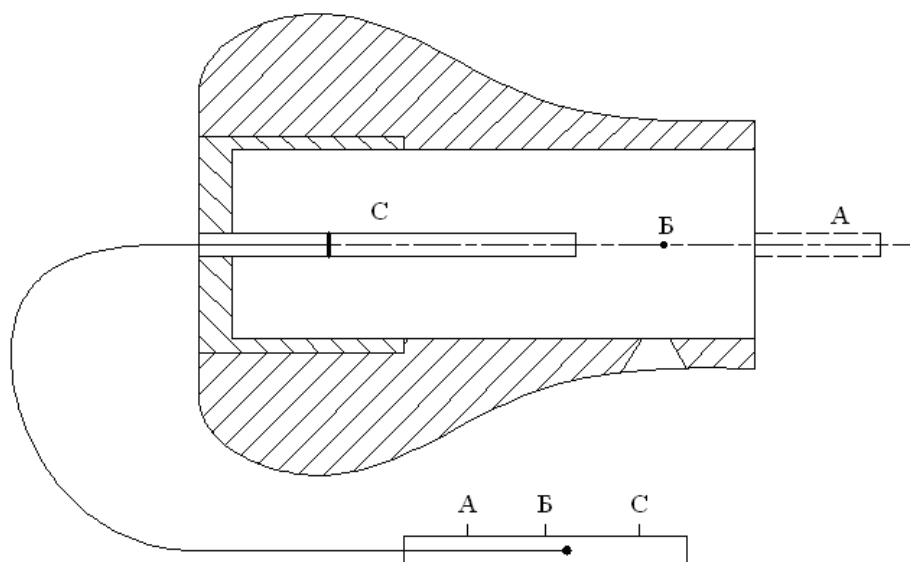


Рис. 5.4. Схема гамма-дефектоскопа

Для просвечивания гамма-излучением стальной детали толщиной 50 мм необходимо 2–3 часа. Аппарат может работать стационарно, т. е., устанавливается на штативе. Канат, перемещающий радиоактивный источник, передвигается дистанционно на расстояние 3 м от аппарата. В положении С аппарат находится в неработающем состоянии, в положении Б излучение происходит направленным пучком, в положении А рассеивающим пучком.

Люминесцентная дефектоскопия. Для выявления дефектов детали погружают на 3 мин в люминофор – раствор трансформаторного или индустриального масла (10 %) с керосином (90 %), затем промывают их в течение 5–10 с в теплой воде или бензине, просушивают, опыляют магнезией и облучают ультрафиолетовой лампой ПРК-2 или ТТРК-4. Освещенные детали приобретают темно-фиолетовый цвет, а дефектные места ярко светятся.

Дефектоскопия керосином или маслом. Деталь очищают от грязи и ржавчины, затем погружают на 10–20 мин в керосин либо на 3–5 мин в масло. Затем деталь протирают насухо и наносят на нее раствор мела, разведенного в спирте, либо просто наносят мел. Затем деталь подогревают до 40–50 °С. Трещина вырисовывается на белом меловом покрытии.

Электромагнитная дефектоскопия. Деталь сильно намагничивается за счет подачи постоянного тока (рис. 5.5). При наличии трещин или других дефектов магнитный порошок, нанесенный на деталь, покажет место дефекта, т. к. магнитные силовые линии (МСЛ) будут искривляться, а следовательно, будут искривляться и частицы магнитного порошка Fe_3O_3 .

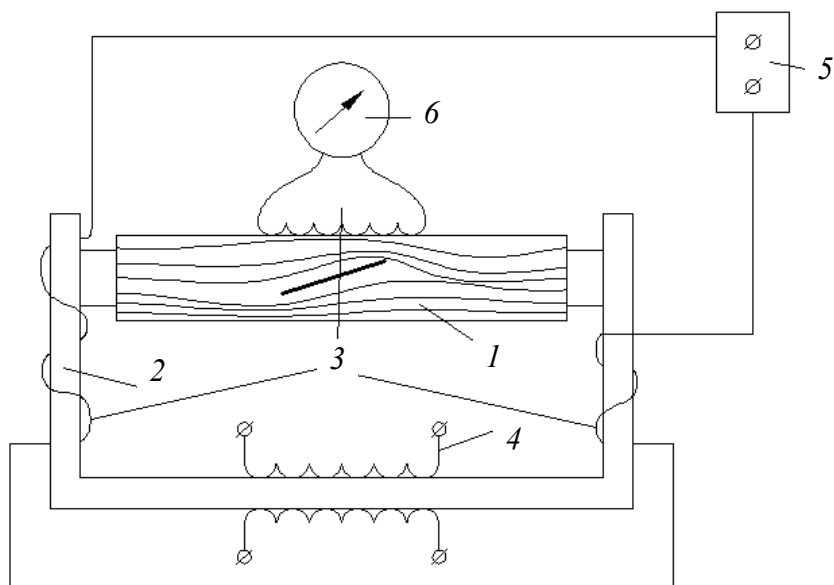


Рис. 5.5. Схема электромагнитного дефектоскопа: 1 – деталь; 2 – магнитный сердечник; 3 – катушки; 4 – катушка для завихрения МСЛ; 5 – источник тока; 6 – индикатор

Дополнительная катушка 4 позволяет МСЛ ориентировать по спирали, что дает возможность определить и продольные дефекты. Вместо порошка Fe_2O_3 возможно использование индикаторов.

5.2. Обеспечение качества неразрушающего контроля и диагностики

5.2.1. Система стандартизации НК и Д

В соответствии с международным стандартом ИСО 8402:1994 «**Качество – совокупность характеристик объекта, которые придают ему способность удовлетворять установленные и предполагаемые потребности**». Объектами являются продукция, процесс, услуга, деятельность,

система и т. д., каждый из которых описывается совокупностью характеристик и параметров, подлежащих нормированию и оценке путем измерений, контроля либо испытаний [9, 10].

Надлежащее качество определяется результатом совокупной деятельности стандартизации, метрологии и оценки соответствия (сертификации). Учитывая важную роль каждого из этих видов деятельности, в Российской Федерации приняты законы «О стандартизации», «Об обеспечении единства измерений» и «О сертификации продукции и услуг».

Закон «О стандартизации» установил правовые основы стандартизации в стране, обязательные для всех юридических и физических лиц, и определил меры государственной защиты интересов потребителей и государства посредством применения нормативных документов по стандартизации.

В этом законе сформулировано определение понятия: «стандартизация – это деятельность по установлению норм, правил и характеристик в целях обеспечения: безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества; технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции; качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии; единства измерений; экономии всех видов ресурсов; безопасности хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций; обороноспособности и мобилизационной готовности страны».

Неразрушающий контроль, обеспечивая возможность проверки характеристик и параметров изделий, процессов и услуг, является одним из основных способов достижения цели стандартизации и качества в широком смысле.

Государственное управление стандартизацией в Российской Федерации осуществляет Госстандарт России путем планирования разработки стандартов и их утверждения.

В соответствии с существующим определением «стандарт – это нормативно-технический документ по стандартизации, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом».

К нормативным документам по стандартизации относятся:

а) государственные стандарты Российской Федерации (далее – государственные стандарты); применяемые в установленном порядке международные (региональные) стандарты, правила, нормы и рекомендации по стандартизации; общероссийские классификаторы технико-экономической информации;

б) стандарты отраслей промышленности; стандарты предприятий; стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений.

В области НК и Д к объектам стандартизации относятся: термины и определения; технические условия и технические требования к средствам НК и Д, устройствам и образцам; параметры и размеры; типы и марки; конструкции приборов и образцов; правила приемки, методы испытаний (контроля, анализа, измерений); методы и средства поверки мер и измерительных приборов; правила эксплуатации и ремонта; правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения; нормы точности и т. п.

В Российской Федерации действует государственная система стандартизации (ГСС), содержащая комплекс государственных стандартов, которая определяет организационные, методические и практические основы стандартизации и в целом является основой деятельности по стандартизации в области НК и Д.

Стандартизация в области НК и Д руководствуется в основном помимо ГСС также системами стандартов ГСИ (государственная система обеспечения единства измерений), ЕССП (единая система стандартов приборостроения), ЕСКД (единая система конструкторской документации). Непосредственно для НК и Д существует система стандартов «Контроль неразрушающий», которая охватывает основные этапы функционирования и жизненного цикла методов и средств НК.

Стандарты ГСС устанавливают требования к единицам физических величин и их эталонам, поверочным схемам, метрологическим характеристикам средств измерений, методам обработки результатов наблюдений, классам точности средств измерений, нормальным условиям измерений при поверке, методикам выполнения измерений, стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов, государственному надзору и ведомственному контролю за средствами измерений и т.д. Очевидно, что руководство требованиями стандартов ГСС способствует созданию нормативных документов для обеспечения единства измерений в области НК и Д. В настоящее время разработаны основополагающие стандарты в области НК и Д.

В частности, стандартизованы термины и определения, которые применяют для таких объектов НК, как аппаратура для рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа; узлы и устройства гамма-аппаратов; средства рентгенорадиометрического анализа; приборы для определения физико-химических свойств и состава веществ; приборы рентгеновские; техническая диагностика; контроль акустический, радиационный, вихре-токовый, магнитный, оптический, капиллярный, радиоволновой, тепловой, электрический, течеискание; в областях измерений толщины покрытий и шероховатости поверхности.

Действующие в настоящее время в области НК и Д стандарты можно систематизировать в следующие группы.

1. Термины и определения.

2. Методы неразрушающего контроля.
3. Измерение и контроль дефектов типа нарушения сплошности.
4. Измерение свойств материалов.
5. Измерение толщины покрытий, листовых материалов и изделий.
6. Измерение шероховатости поверхности.

С учетом важности качества продукции и услуг большое внимание уделяется развитию НК и стандартизации в этой области в таких развитых странах, как США, Германия, Великобритания, Франция, Италия и других странах мира. В каждой из этих стран имеются свои национальные стандарты в области НК и Д.

На основе национальных стандартов в сотрудничестве специалистов разных стран получили развитие международная (ISO) и региональная европейская (EN) стандартизации.

В стандартах ISO и EN особое внимание уделено вопросу квалификации и аттестации персонала, занятого в области НК, установлены классификация уровней квалификации специалистов и требования к ним.

Стандартизованы методы НК (радиографический контроль рентгеновским и гамма-излучением, магнито-порошковый, капиллярный, ультразвуковой, визуальный), требования к уровням приемки сварных соединений, качеству материалов, применяемых для НК, и т. п.

Участие в мировом рынке продукции и услуг требует выработки единых критериев для оценки качества продукции, выпускаемой разными фирмами, и, соответственно, единообразных методов и средств контроля и оценки результатов.

Национальные и международные стандарты в некоторых случаях предъявляют различные требования к характеристикам приборов НК и Д и критериям оценки погрешностей результатов измерений, что осложняет экономические и торговые связи, поэтому в настоящее время весьма актуальным стал вопрос гармонизации этих стандартов, и такая работа проводится в рамках международного сотрудничества.

Существуют два направления применения в Российской Федерации международных и региональных стандартов. Первое – национальный стандарт соответствует международному либо международному стандарту присваивается статус национального. Второе – предполагает частичное принятие международного стандарта и его применение в другом нормативном документе.

В качестве национальных стандартов Российской Федерации в области НК и Д уже приняты международные стандарты ИСО на ультразвуковые методы контроля сплошности, расслоений и толщины стальных бесшовных труб. Гармонизированы подходы к подготовке и повышению квалификации персонала.

Наряду с государственными стандартами и нормативными документами существует большое число отраслевых и ведомственных стандартов

и нормативных документов, которые развивают и конкретизируют основные положения государственных стандартов с учетом условий применения приборов НК и Д на данном уровне.

В совокупности более 125 государственных стандартов и 130 нормативных документов в ранге правил и рекомендаций по метрологии действуют в области НК и Д.

Можно считать, что в Российской Федерации стандартизованы наиболее массовые области применения НК и Д, что способствует обеспечению безопасности, надежности и качества продукции и услуг.

5.2.2. Экспертные системы

Современный этап в разработке и использовании средств неразрушающего контроля и диагностики характеризуется интенсивной компьютеризацией. Применение современной вычислительной техники, прежде всего высокопроизводительных, относительно недорогих персональных компьютеров, сделало возможным появление качественно нового поколения приборов и систем НК и Д. Отличительной особенностью устройств данного поколения является наличие у них развитых систем компьютерной обработки информации, использующих эвристические и формальные методы [9].

Проявляемый к ЭС высокий интерес объясняется, прежде всего, следующими причинами. Во-первых, ЭС ориентированы на решение широкого класса неформализованных задач. Во-вторых, ЭС при решении практических задач обеспечивают результаты, не уступающие по качеству тем, которые может получить эксперт – человек. Неформализованные задачи обладают одной или несколькими из следующих характеристик:

- задачи не могут быть заданы в числовой форме;
- цели не могут быть выражены в терминах точно определенной целевой функции;
- не существует алгоритмического решения или оно существует, но его нельзя использовать из-за имеющихся ограничений.
- Как правило, неформализованные задачи отличаются следующим:
 - неоднозначностью, неполнотой и противоречивостью исходных данных;
 - неоднозначностью, неполнотой и противоречивостью знаний о проблемной области и решаемой задаче;
 - большой размерностью пространства возможных решений;
 - динамически изменяющимися данными и знаниями.

Неформализованные задачи представляют собой большой и очень важный класс задач НК и Д.

Все многообразие неформализованных задач в области НК и Д можно условно разбить на два больших класса: задачи, связанные с исследованиями, проектированием, разработкой средств НК и Д, и задачи обработки и анализа информации средств (в средствах) НК и Д об объектах с целью принятия решений.

Задачи первого класса включают вопросы построения (синтеза) и исследования моделей процессов, моделей объектов контроля и диагностики, диагностических моделей, синтеза и оптимизации архитектуры средств НК и Д, выбора эффективных методов отстройки от мешающих факторов, методов обработки и анализа информации, синтеза и оптимизации аппаратного и программного обеспечений и т. д. Несмотря на определенные достижения в последние годы в области создания различных моделирующих, оптимизирующих программ, САПР и т. д., успешное решение перечисленных задач по-прежнему во многом зависит от опыта и знаний разработчика.

В то же время число квалифицированных специалистов (ученых, разработчиков) ограничено, их знания, как правило, имеют личностный характер, представляют собой набор различных эвристик. Несомненно, что именно системы, основанные на знаниях, предназначенные для обработки эвристических знаний, позволяют успешно решать указанные задачи. Применение ЭС в данных приложениях позволяет обеспечить новые результаты при фундаментальных и прикладных исследованиях в области НК и Д, а также повышение технического уровня разрабатываемых устройств за счет использования знаний первоклассных экспертов.

Задачи второго класса непосредственным образом связаны с решением проблем технической диагностики, дефектоскопии конкретных объектов. В силу различных причин, например, сложности объектов, многообразия диагностических признаков и дефектов, специфичных условий контроля качества и т. д. для широкого круга практических задач НК и Д алгоритмического решения не существует или оно существует, но не обеспечивает в реальных условиях удовлетворительных результатов и окончательное решение принимает человек. В данных случаях определяющую роль в успешном решении задачи играют опыт и эвристические знания конкретного специалиста. Очевидно, что это обстоятельство вносит субъективный фактор в результаты полученных решений: опыт и знания у каждого специалиста различны, на результатах также сказывается психофизическое состояние человека. Кроме того, не для всех приложений возможно участие человека в процессе контроля (или диагностики), как, например, при наличии вредных и агрессивных сред.

Применение ЭС для решения задач этого класса позволяет в ряде случаев полностью исключить участие человека в процессе принятия окончательных решений, не снижая (а иногда и повышая) качество кон-

троля (диагностики). В других же случаях использование ЭС повышает уровень компетентности человека, что также положительно сказывается на качестве диагностики.

Требования, предъявляемые к ЭС, решающим задачи первого и второго классов, различны. Эти различия в первую очередь касаются содержания баз знаний ЭС. ЭС первого типа (предназначенные для решения задач первого класса) должны обладать мощными базами различных знаний о предметной области: о данных (или аналогичных) объектах контроля (диагностики), процессах, используемых формальных и эвристических методах и алгоритмах решения подобных (или аналогичных) задач и т.д. Как правило, данные ЭС не являются системами реального времени и не функционируют в комплексе с измерительной аппаратурой.

ЭС второго типа обладают базами знаний меньшего объема, содержание их более конкретно. Это могут быть знания о данном объекте, режимах его функционирования, условиях контроля (диагностики), возможных дефектах и неисправностях объекта (его узлов), действиях в случае возникновения тех или иных ситуаций и т. д. ЭС второго типа могут быть как системами реального времени, функционировать в комплексе с измерительной аппаратурой, так и системами интерактивного типа. Для данных ЭС характерно, что информация, полученная с помощью измерительной аппаратуры, является для них исходной (входной). Примерами систем этого класса могут служить ЭС SUPER и EXTRACSION.

ЭС **SUPER** (разработчик – University of Technology of Compiègne) ориентирована на выявление и идентификацию дефектов парогенераторов. Система обрабатывает и анализирует информацию, полученную с помощью многоканальной измерительной аппаратуры, реализующей мультичастотный вихретоковый метод контроля. В основу организации ЭС SUPER положена система правил – продукций. База знаний ЭС содержит исчерпывающую информацию, касающуюся вихретокового метода контроля, особенностей контроля рассматриваемого объекта, возможных дефектов и т. д. В процессе функционирования SUPER полностью воспроизводит ход рассуждений дефектоскописта. ЭС SUPER позволяет определить тип и глубину дефектов. Возможности ЭС SUPER обеспечивают выявление как единичных симметричных (асимметричных), так и множественных симметричных (асимметричных) дефектов труб парогенераторов.

ЭС **EXTRACSION CdF** предназначена для диагностики состояния труб парогенераторов в атомной промышленности. По мощности и составу своей базы знаний, своим возможностям данная ЭС приближается к ЭС первого типа. Как и в системе SUPER, при измерениях используется вихретоковый метод контроля. Организация базы знаний ЭС представляет собой иерархию различных уровней и типов знаний. Основу ЭС EXTRACSION составляют априорные знания, так как возможные дефекты и адекватные

методы их выявления обычно известны. Априорные знания включают в себя знания об организации сигналов, об обработке сигналов, интерпретации и диагностике. Априорные знания разбиты на три большие группы. В их числе состоят:

- структура металла исследуемой конструкции, ее возможные модификации, методы измерений, применимые для решения задачи;
- базовые структуры сигналов и их возможные модификации с учетом модификаций структуры металла;
- выбор адекватных методов выявления, распознавания, сегментации.

В EXTRACSION определены два интеллектуальных уровня. На верхнем интеллектуальном уровне решаются задачи проверки соответствия методов третьей группы (их применимости) возникающим модификациям (изменениям) знаний первой группы, которые, в свою очередь, определяют модификации во второй группе. На низшем интеллектуальном уровне ЭС реализуется построение умозаключений с целью конечной диагностики состояния объекта.

Кроме рассмотренных классов задач имеется еще одно важное применение ЭС в области НК и Д. Это обучение (переобучение, повышение квалификации) специалистов. Очевидно насколько актуальна эта задача в настоящее время. Одной из эффективных форм обучения, которую можно реализовать с помощью ЭС, является обучение путем решения типовых задач. В процессе решения задачи ЭС с помощью своей объяснительной компоненты позволяет обучаемому понять логику рассуждений высококлассных экспертов, освоить их приемы и подходы к решению подобных задач, получить доступ к эвристическим знаниям о рассматриваемой проблеме.

Анализ разрабатываемых и существующих ЭС НК и Д позволяет выявить некоторые тенденции в их построении. Базы правил данных ЭС в среднем насчитывают около 300 правил, хотя встречаются ЭС, содержащие 20-25 тысяч правил. Наиболее часто в основу ЭС положены системы правил типа «если..., то...». Это объясняется большей наглядностью такого представления знаний по сравнению с представлениями, основанными на использовании фреймов, семантических сетей и т. д. В реализации механизма вывода ЭС чаще используются прямые цепочки рассуждений, несколько реже обратные.

Разработка ЭС представляет собой длительный и трудоемкий процесс. Он является итеративным, причем часто на той или иной стадии приходится начинать разработку практически сначала.

Одним из путей, который в известной степени позволяет решить перечисленные проблемы, является использование, по крайней мере, на начальном этапе «пустой» ЭС (ЭС, не содержащей никаких знаний о предметной области). Подобные ЭС обладают возможностями организации и

редактирования баз знаний, встроенным механизмом вывода, объяснительной компонентой и т. д. Такой подход позволяет довольно быстро получить ответ на ряд важных вопросов: насколько применимы ЭС для решения конкретной задачи, насколько эффективна для решения задачи выбранная ЭС и т. д. При благоприятном исходе удастся создать первый прототип ЭС, возможности которого в дальнейшем будут наращиваться.

Рассмотренная концепция «быстрого» прототипа была положена в основу системы вибродиагностики судовых турбоагрегатов. В качестве измерительной аппаратуры в системе применяются комплексы многоканальной контрольно-сигнальной аппаратуры, позволяющие измерять, контролировать относительные и абсолютные вибрации паровых и газовых судовых турбин. В связи с известными трудностями формализации задачи анализ информации об уровнях вибрации турбин осуществляется с помощью ЭС.

В качестве базы для построения ЭС вибродиагностики была выбрана готовая «пустая» ЭС, представление знаний в которой основано на системе правил типа «если..., то...», механизм вывода использует прямую цепочку рассуждений. Основные трудности разработки ЭС связаны, прежде всего, с недостатком статистического материала, неполнотой информации об объекте диагностики.

5.3. Средства неразрушающего контроля и диагностики

5.3.1. Общая характеристика средств НК и Д

К средствам НК и Д относят контрольно-измерительную аппаратуру, в которой используют проникающие поля, излучения и вещества для получения информации о качестве исследуемых материалов и объектов. НК подразделяют на девять видов: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический и с проникающими веществами. Каждый вид НК осуществляют методами, которые классифицируют по следующим признакам:

- характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом;
- первичным информативным параметрам;
- способам получения первичной информации.

В классификаторе все средства НК и Д разделены на семь основных групп, причем оптические и тепловые приборы отнесены к одной группе.

Первые четыре знака классификатора (табл. 5.1) определяют общие отраслевые признаки средств НК и Д, пятый знак обозначает основной физический метод, на основе которого создан прибор. Шестой знак определяет класс аппаратуры по основным приборным признакам.

Таблица 5.1

**Классификация приборов неразрушающего
контроля качества материалов и изделий**

Код	Приборы неразрушающего контроля
42 7610	Акустические для контроля методом:
42 7611	теневым
42 7612	эхо-импульсным
42 7613	резонансным
42 7614	свободных колебаний
42 7615	эмиссионным
42 7616	импедансным
42 7617	велосиметрическим
42 7618	Прочие
42 7620	Капиллярные для контроля методом:
42 7621	цветным (хроматическим)
42 7622	яркостным (ахроматическим)
42 7623	люминесцентным
42 7624	люминесцентно-цветным
42 7625	фильтрующихся частиц
42 7626	комбинированным
42 7628	Прочие
42 7630	Магнитные для контроля методом:
42 7631	магнитопорошковым
42 7632	магнитографическим
42 7633	магнитоферрозондовым
42 7634	индукционным
42 7635	пандеромоторным
42 7636	магнитополупроводниковым
42 7638	Прочие
42 7640	Оптические и тепловые
	Оптические для контроля методом:
42 7641	прошедшего излучения
42 7642	отраженного излучения
42 7643	собственного излучения
	Тепловые для контроля методом:
42 7644	прошедшего излучения
42 7645	отраженного излучения
42 7646	собственного излучения
42 7648	Прочие

Код	Приборы неразрушающего контроля
42 7650	Радиационные для контроля методом:
42 7651	рентгеновским
42 7652	гамма
42 7653	бета
42 7654	нейтронным
42 7655	позитронным
42 7658	Прочие
42 7660	Радиоволновые для контроля методом:
42 7661	прошедшего излучения
42 7662	отраженного излучения
42 7663	собственного излучения
42 7668	Прочие
42 7670	Электромагнитные (<i>вихревых токов</i>) и <i>электрические</i> для контроля электромагнитным методом с использованием преобразователей:
42 7671	проходных
42 7672	накладных
42 7673	экранных
42 7674	комбинированных
42 7675	для контроля электрическим методом
42 7678	Прочие

По техническому исполнению средства контроля можно подразделить на три класса:

1 – автономные приборы для контроля одной или нескольких взаимосвязанных качественных характеристик;

2 – комплексные системы, автоматические линии и роботы-контролеры, предназначенные для определения ряда основных параметров, характеризующих качество объекта;

3 – системы НК и Д для автоматического управления технологическими процессами по качественным признакам.

По видам контролируемых параметров средства НК и Д разделяют на приборы-дефектоскопы (приборы или установки), предназначенные для осуществления следующих действий:

- для обнаружения дефектов типа нарушений сплошности (трещин, раковин, расслоений и т. д.);

- для контроля геометрических характеристик (наружные и внутренние диаметры, толщина стенки, покрытий, слоев, степень износа, ширина и длина изделия и т. д.);

- для измерения физико-механических и физико-химических характеристик (электрических, магнитных и структурных параметров, отклонений от заданного химического состава, измерения твердости, пластично-

сти, коэрцитивной силы, контроля качества упрочненных слоев, содержания и распределения ферритной фазы и т. п.);

- технической диагностики для определения состояния изделий, возникновения и развития различного рода дефектов, в том числе нарушений сплошности, изменения размеров и физико-механических свойств изделий за период эксплуатации изделий.

5.3.2. Контролируемые параметры и дефекты

Выбор метода и прибора неразрушающего контроля для решения задач дефектоскопии, толщинометрии, структуроскопии и технической диагностики зависит от параметров контролируемого объекта и условий его обследования. Ни один из методов и приборов не является универсальным и не может удовлетворить в полном объеме требования практики. В соответствии с назначением приборов измеряемые и определяемые параметры и дефекты разделяют на четыре группы (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Классификация контролируемых параметров и дефектов

Группа	Параметры и дефекты
I	Дефекты типа нарушения сплошности: раковины, трещины, расслоения, поры и др.
II	Отклонения размеров длины, ширины, высоты, диаметра, толщины стенки, а также толщины покрытия и глубины поверхностного слоя (закаленного, обезуглероженного и т. д.)
III	Удельная электрическая проводимость, магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, остаточная индукция, твердость, влажность, напряжение, структура, химический состав, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, плотность и др.
IV	Эмиссия волн напряжения, развитие во времени трещин, увеличение напряжений, утолщение стенки, увеличение зазора и т. д.

В соответствии с ГОСТ дефекты разделяют на явные и скрытые, а также критические, значительные и малозначительные. Такое разделение дефектов проводят для последующего выбора вида контроля качества продукции (выборочный или сплошной). При любом методе контроля о дефектах судят по косвенным признакам (характеристикам), свойственным данному методу. Некоторые из этих признаков поддаются измерению. Ре-

зультаты измерения характеризуют выявленные дефекты и используются для их классификации.

Дефекты типа нарушений сплошности металла являются следствием несовершенства его структуры и возникают на разных стадиях технологического процесса. К дефектам тонкой структуры относят *дислокации* – особые зоны искажений атомной решетки. Прочность деталей резко падает при определенном числе дислокаций в единице объема кристалла.

Субмикроскопические трещины (размером порядка нескольких микрометров) образуются в процессе обработки детали (например, шлифования) и резко снижают ее прочность, особенно при работе в условиях сложного напряженного состояния или воздействия поверхностно-активных сред. Если поврежденный поверхностный слой удалить, например, путем электролитического растворения, то прочность детали существенно повышается. Наиболее грубыми дефектами являются макроскопические, в ряде случаев видимые невооруженным глазом дефекты, представляющие собой нарушения сплошности или однородности материала, особенно резко снижающие прочность детали. Эти дефекты образуются в металле вследствие несовершенства технологического процесса и низкой технологичности многокомпонентных сплавов, при обработке которых требуется особенно точно соблюдать режимы технологического процесса на каждом этапе.

Встречающиеся в металлических изделиях и полуфабрикатах дефекты различают по размерам и расположению, а также по природе их происхождения. Они могут образоваться в процессе проведения следующих операций:

- плавки и литья (раковины, поры, зоны рыхлоты, включения, ликвационные зоны, горячие трещины, неслитины и т. д.);
- обработки давлением (внутренние и поверхностные трещины, расслоения, пресс-утяжины, рванины, заковы, закаты, плены, флокены и т. д.);
- термической и химико-термической обработки (зоны грубозернистой структуры, перегрева и пережога, термические трещины, несоответствие заданному значению толщины закаленного, цементованного, азотированного и других слоев, а также толщины слоя гальванического покрытия и т. д.);
- механической обработки (шлифовочные трещины, прижоги);
- сварки, пайки, склеивания (непровар, трещины, непропай, непроклеи);
- хранения и эксплуатации (коррозионные поражения, усталостные трещины, трещины термической усталости, ползучести) и т. д.

Для указанных дефектов характерен один общий признак: они вызывают изменение физических характеристик материала, таких как удельная электрическая проводимость, магнитная проницаемость, коэффициент затухания упругих колебаний, плотность, коэффициент ослабления излучений и т. д.

Эффективность применения средств НК и Д определяется сокращением суммарных расходов на разработку, производство и эксплуатацию промышленной продукции.

Назначение вновь создаваемого изделия во многом предопределяет конструкцию, технологию изготовления, требования к надежности, долговечности, стоимости, а также объемы применения методов и средств контроля на всех этапах изготовления и эксплуатации.

На стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию изделий средства НК и Д применяют:

- для получения необходимых данных, подтверждающих правильность выбранных решений;
- для сокращения времени и объемов необходимых исследований;
- для отбора материалов, компонентов и оборудования, обеспечивающих получение продукции необходимого качества с минимальными материальными и трудовыми затратами.

На этом этапе выбирают оптимальные методы и средства контроля, разрабатывают основные технические требования к эталонам и критерии приемки деталей.

На этапе производства и испытаний опытной партии деталей средства НК и Д используют для отработки технологических процессов и конструкций, а также при испытаниях изделий. По результатам контроля вносят изменения в конструкцию и технологические процессы с целью снижения материалоемкости и трудоемкости производства, повышения надежности и долговечности продукции. На этом этапе устанавливают необходимые технические требования к НК и Д качества изделия.

При производстве, испытаниях и гарантийном обслуживании серийной продукции средства НК и Д используют:

- для выявления соответствия материалов, полуфабрикатов и готовых изделий заданным техническим требованиям (пассивный контроль);
- для целей управления и регулирования технологических процессов (активный контроль).

При эксплуатации и ремонте изделий и оборудования с помощью средств НК и Д предотвращаются поломки и аварии, сокращаются простои и эксплуатационные расходы, увеличиваются сроки эксплуатации и межремонтных периодов, а также сокращаются продолжительность и стоимость ремонтов. На основании результатов НК и Д изделие может быть изъято из эксплуатации. Эффективность применения НК и Д определяется его принципиальными преимуществами по сравнению с визуальным осмотром и разрушающими испытаниями изделий.

Методы контроля, основанные на визуальном осмотре поверхности изделий, просты, не требуют высокой квалификации контролеров и применения сложной дорогостоящей аппаратуры.

В то же время они малопроизводительны, не могут быть полностью автоматизированы и являются субъективными, так как достоверность результатов зависит от самочувствия, опыта и добросовестности контролеров. Дефекты многих видов не имеют выхода на поверхность или не видны даже при просмотре с увеличением.

К преимуществам разрушающих испытаний следует отнести то, что в процессе испытаний можно измерить разрушающие нагрузки или другие характеристики, определяющие эксплуатационную надежность изделия.

Принципиальным недостатком разрушающих испытаний является то, что они проводятся выборочно, т. е. только на части изделий партии. Поскольку испытываемые материалы и изделия разрушаются в процессе контроля, то достоверность разрушающих методов зависит от однородности исследуемых свойств в образцах и изделиях, а также от сходства условий испытаний с условиями эксплуатации. По сравнению с НК и Д разрушающие испытания, как правило, более трудоемки, менее производительны и труднее поддаются автоматизации.

Одной из современных тенденций в использовании испытательной техники является стремление сочетать разрушающие и неразрушающие методы контроля.

С помощью НК и Д изделия сортируют по различным группам качества. Разрушающие испытания образцов, взятых из каждой группы, позволяют установить соответствие эксплуатационных характеристик изделия измеренным. Если эти связи установлены достаточно точно, то НК и Д позволяет резко сократить объем и периодичность разрушающих испытаний. В этом случае разрушающие испытания проводятся в основном для периодической проверки результатов НК и Д.

Во многих случаях применения средств НК и Д не удается точно оценить экономический эффект, полученный при эксплуатации проконтролированной продукции, особенно когда контроль направлен на обеспечение необходимой безопасности, надежности и долговечности работы сложных машин и агрегатов. В этих случаях критерии приемки материалов и изделий непосредственно связаны с желаемым уровнем качества, который, в свою очередь, зависит от того, насколько важную роль играет данный компонент или узел в изделии. В зависимости от связи между этими факторами могут быть установлены следующие уровни качества:

- первый – для критических компонентов, т. е. для таких конструктивных элементов, отказ которых приводит к отказу всей системы или даже к аварии (например, двигатель или шасси самолета);
- второй – для некритических компонентов, т. е. для конструктивных элементов, отказ которых не приводит к аварии, но может нарушить нормальную работу системы или объекта. Такие компоненты требуют плановых осмотра и ремонта (например, лонжерон или тяга управления самолета);

- третий – для неответственных конструктивных элементов, отказ которых может привести к некоторым неудобствам (например, осветительные приборы, предупредительные надписи установок и т. д.).

Установление и определение требуемого уровня качества изделия являются одной из наиболее сложных проблем, которая часто не имеет математического решения.

Для определения приемлемых уровней качества используют теоретические исследования нагрузок и статистический анализ экспериментальных данных. В результате эксперимента должны быть выявлены корреляционные или другие виды связи между результатами неразрушающих и разрушающих испытаний. Наиболее часто уровень качества устанавливают, сравнивая деталь с аналогичными, успешно применявшимися ранее.

В случае трудности получения информации при теоретических расчетах и статистических экспериментах источником данных для установления уровня качества может служить предшествующий опыт. При этом имеется гарантия того, что материалы или компоненты будут удовлетворительно выполнять свои функции. Кроме того, такой подход является наиболее приемлемым с экономической точки зрения. Практика показывает, что нельзя устанавливать уровень качества детали ниже того, который был достигнут для аналогичных изделий.

При разработке методик по НК и Д и установлении уровней качества новых конструкций и материалов изготавливают опытные партии деталей, которые подвергают неразрушающим испытаниям для обнаружения внешних и внутренних дефектов. При этом регистрируют частоту появления и характер всех обнаруженных дефектов. Детали с наихудшим качеством по результатам НК и Д подвергают разрушающим испытаниям и ускоренным испытаниям на долговечность. В случае обнаружения отказов испытывают следующую деталь с худшим качеством. Этот процесс продолжается до тех пор, пока одна из деталей не пройдет все виды испытаний. Уровень качества этой детали принимают за минимальный уровень разбраковки.

Если позволяет время, то детали испытывают на долговечность для подтверждения факта, что отказ не вызван перегрузкой или усталостью от циклических нагрузок. При испытании на долговечность детали следует периодически осматривать и подвергать НК и Д, чтобы определить, как увеличиваются размеры первоначальных неоднородностей и какие из них приводят к раннему выходу из строя всего изделия.

Средства НК и Д применяют во всех отраслях народного хозяйства. С их помощью контролируют качество деталей и конструкций различных размеров, изготовленных из разнообразных материалов.

При изготовлении, эксплуатации и ремонте в объекте могут образоваться дефекты различного типа k (раковины, трещины, непровары, металлические и неметаллические включения, зоны крупнозернистой структуры,

несоответствия заданному значению толщины стенок, закаленного слоя, гальванического покрытия и др.), где $k = 1, k_0$. В общем случае дефект потенциально опасен и может привести к возникновению в объекте аварийной ситуации, т.е. такого состояния объекта, когда его дальнейшее использование по прямому назначению невозможно или небезопасно.

В соответствии с этим потенциальную опасность (вид) дефекта характеризуют вероятностью $P(A)$ возникновения аварийной ситуации в объекте из-за дефекта при регламентированных режимах и условиях его эксплуатации в течение заданного периода времени, если в объекте этот дефект единственный. В объекте могут быть дефекты различного вида, где $i = 1, i_0$. При этом каждому дефекту вида i независимо от типа k соответствует своя потенциальная опасность $P(A)$. Для дефектов вида «критические» $P(A_{кр}) = 1$, для дефектов вида «малозначительные» $P(A_M) = 0$.

Дефекты одного типа k и размеров в зависимости от места расположения и условий работы объекта могут быть отнесены к различным видам, в то же время дефекты различного типа k могут принадлежать к единому виду i .

При любом методе НК о дефектах судят по косвенным признакам (характеристикам). Характеристики, измеряемые при выявлении дефекта данным методом и в совокупности позволяющие с определенной достоверностью оценить образ дефектов и идентифицировать их по типам и видам в соответствии с заданными граничными значениями этих характеристик, образуют измеряемые характеристики дефектов. Измеряемую характеристику дефекта, по значению которой при данном методе НК и Д принимают решение об отсутствии или о возможном обнаружении дефекта, называют главной измеряемой характеристикой.

5.4. Радиационный контроль

5.4.1. Общие сведения

При радиационном контроле используют как минимум три основных элемента (рис. 5.6) [10]:

- источник ионизирующего излучения;
- контролируемый объект;
- детектор, регистрирующий дефектоскопическую информацию.

При прохождении через изделие ионизирующее излучение ослабляется – поглощается и рассеивается. Степень ослабления зависит от толщины δ и плотности ρ контролируемого объекта, а также от интенсивности M

и энергии E излучения. При наличии в веществе внутренних дефектов размером $\Delta\delta$ изменяются интенсивность и энергия пучка излучения.

Методы радиационного контроля различаются способами детектирования дефектоскопической информации (рис. 5.7) и, соответственно, делятся на радиографические, радиоскопические и радиометрические.

Изделия просвечивают с использованием различных видов ионизирующих излучений.

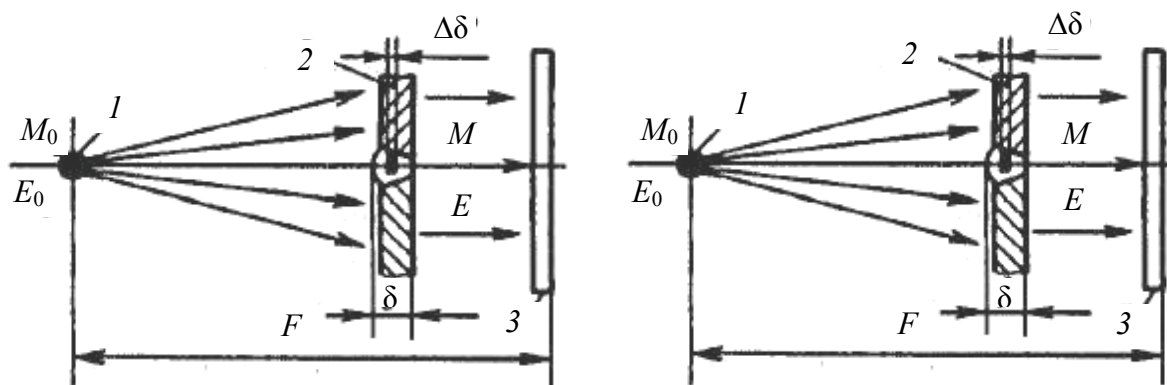


Рис.5.6. Схема просвечивания: 1 – источник; 2 – изделие; 3 – детектор

В рентгеновских трубках напряжением до 60 кВ только 0,1 % энергии электронного пучка преобразуется в энергию рентгеновского излучения. При напряжении 100 кВ КПД трубки увеличивается до 1,0 %, при 2МВ он достигает 10 %, при 15 МВ – более 50 %.

Лучевая отдача трубки зависит в основном от ускоряющего напряжения и предварительной фильтрации излучения. Мощность P экспоненциальной дозы и экспоненциальную дозу X излучения, создаваемые рентгеновской трубкой на расстоянии F от её анода, определяют по формулам

$$P = P_T \cdot i / F^2; \quad X = P_T \cdot i \cdot t \cdot 3,6 \cdot 10^7 / F^2,$$

где P_T – лучевая отдача трубки при напряжении U_{\max} на расстоянии 1 м от анода; i – ток трубки, мА; t – время работы трубки, ч; F – фокусное расстояние от анода трубки до детектора, см.

С увеличением тока трубки при постоянном напряжении увеличивается интенсивность излучения.

В радиационной дефектоскопии применяют рентгеновские трубки двухэлектродной конструкции двух- и однополярные, специализированных конструкций с вынесенным полым анодом, импульсные и высоковольтные.

Импульсные рентгеновские трубки предназначены для исследования быстропротекающих процессов, у которых длительность импульсов составляет примерно 20 нс.

Высоковольтные рентгеновские трубки не могут быть двухэлектродными, так как при высоком ускоряющем поле более 400 кВ наблюдаются автоэлектронная эмиссия, электрические пробой, рассеяние и отражение электронов.

Рентгеновские трубки с вращающимся анодом предназначены для кратковременной нагрузки большой мощности (до 100 кВт в течение 0,1 с).

5.4.2. Основные методы РК

Радиографические методы радиационного НК (рис. 5.7) основаны на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение. На практике этот метод наиболее широко распространен в связи с его простотой и документальным подтверждением получаемых результатов.



Рис. 5.7. Классификация методов радиационного контроля

В зависимости от используемых детекторов различают пленочную радиографию и ксерорадиографию (электрорадиографию). В первом случае детектором скрытого изображения и регистратором статического видимого изображения служит фоточувствительная пленка, во втором – полупроводниковая пластина, а в качестве регистратора используют обычную бумагу.

В зависимости от используемого излучения (рис. 5.8) различают несколько разновидностей промышленной радиографии: рентгенографию,

гамма-графию, ускорительную и нейтронную радиографию. Каждый из перечисленных методов имеет свою сферу использования. Этими методами можно просвечивать стальные изделия толщиной от 1 до 700 мм.

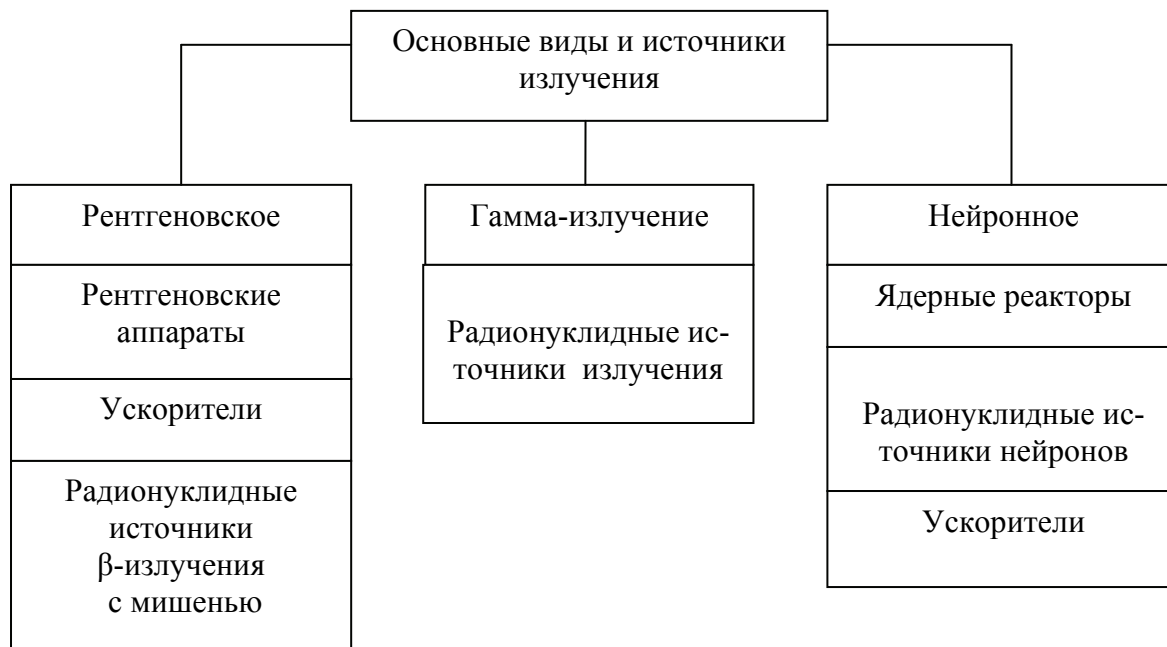


Рис. 5.8. Классификация источников ионизирующих лучей

Радиационная интроскопия – метод радиационного НК, основанный на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на выходном экране радиационно-оптического преобразователя, причем анализ полученного изображения проводится в процессе контроля.

Чувствительность этого метода несколько меньше, чем радиографии, но его преимуществами являются повышенная достоверность получаемых результатов благодаря возможности стереоскопического видения дефектов и рассмотрения изделий под разными углами, «экспрессность» и непрерывность контроля.

Радиометрическая дефектоскопия – метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, в виде электрических сигналов (различной величины, длительности или количества).

Этот метод обеспечивает наибольшие возможности автоматизации процесса контроля и осуществления автоматической обратной связи контроля и технологического процесса изготовления изделия. Преимуществом метода является возможность проведения непрерывного высокопроизво-

дительного контроля качества изделия, обусловленная высоким быстродействием применения аппаратуры. По чувствительности этот метод не уступает радиографии.

5.5. Магнитные методы и средства контроля

5.5.1. Общие сведения

Магнитный вид неразрушающего контроля применяют в основном для проверки изделий из ферромагнитных материалов, т. е. из материалов, которые способны существенно изменять свои магнитные характеристики под воздействием внешнего (намагничивающего) магнитного поля. Операция намагничивания (помещения изделия в магнитное поле) при этом виде контроля является обязательной. Съём информации может быть осуществлен с полного сечения образца (изделия) либо с его поверхности.

В зависимости от конкретных задач НК, марки контролируемого материала, требуемой производительности метода могут использоваться те или иные первичные информативные параметры. К числу наиболее распространенных относятся следующие информативные параметры: коэрцитивная сила, намагничённость, индукция (остаточная индукция), магнитная проницаемость, напряжённость, эффект Баркгаузена.

По способу получения первичной информации различают следующие методы магнитного вида контроля: магнитопорошковый (МП), магнитографический (МГ), феррозондовый (ФЗ), эффекта Холла (ЭХ), индукционный (И), пндеромоторный (ПМ), магниторезисторный (МР). С их помощью можно осуществить контроль сплошности (методами дефектоскопии) (МП, МГ, ФЗ, ЭХ, И), размеров (ФЗ, ЭХ, И, ПМ), структуры и механических свойств (ФЗ, ЭХ, И).

Из перечисленных методов только магнитопорошковый требует обязательного участия в контрольных операциях человека; остальные методы позволяют получать первичную информацию в виде электрических сигналов, что делает возможным полную автоматизацию процессов контроля. Методы МП и МГ обнаружения несплошностей являются контактными, т. е. требуют соприкосновения преобразователя (магнитный порошок или магнитная лента) с поверхностью изделия; при остальных методах контроля съём информации осуществляется бесконтактно (хотя и на достаточно близких расстояниях от поверхности).

С помощью магнитных методов могут быть выявлены закалочные и шлифовочные трещины, волосовины, закаты, усталостные трещины и дру-

гие поверхностные дефекты шириной раскрытия несколько микрометров. Такие методы, как ФЗ, ЭХ, И, МГ, можно использовать на грубых поверхностях, при этом минимальная глубина выявляемых дефектов составляет трехкратную высоту шероховатостей поверхности. В связи с необходимостью сканировать поверхность изделия методы ФЗ, ЭХ, И особенно удобно применять для контроля цилиндрических изделий. Метод МГ успешно применяют для контроля сварных швов.

Из геометрических параметров с помощью магнитных методов наиболее часто определяют толщину немагнитных покрытий на магнитной основе, толщину стенок изделий из магнитных и немагнитных материалов.

Контроль структуры и механических свойств изделий осуществляют путем установления корреляционных связей между контролируемым параметром (температурой закалки и отпуска, твердостью и т. д.) и какой-либо магнитной характеристикой (или несколькими). Успешно контролируется состояние поверхностных слоев (качество поверхностной закалки, азотирования и т. д.), а также наличие α -фазы.

5.5.2. Магнитные дефектоскопы

Для намагничивания деталей применяют постоянный (двухполупериодный выпрямленный, трехфазный выпрямленный), переменный, однополупериодный выпрямленный и импульсный токи.

Дефекты оптимально обнаруживаются в случае, когда направление намагничивания контролируемой детали перпендикулярно к направлению дефекта. Поэтому простые детали намагничивают в двух направлениях, а детали сложной формы – в нескольких направлениях.

Для создания оптимальных условий контроля применяют три способа намагничивания: циркулярное, продольное (или полюсное) и комбинированное.

Циркулярное намагничивание осуществляется при пропускании тока по контролируемой детали или через проводник (стержень), помещенный в отверстие детали. Наиболее эффективно циркулярное намагничивание деталей, имеющих форму тел вращения. При пропускании тока по деталям сложной формы выступы и другие неровности могут быть не намагничены до требуемой степени. В этих местах необходимо измерять напряженность намагниченного поля и специально следить, чтобы она достигала требуемой для контроля величины.

При циркулярном намагничивании направление магнитного потока перпендикулярно к направлению тока, поэтому оптимально обнаруживаются дефекты, направление которых совпадает с направлением тока.

Одной из разновидностей циркулярного намагничивания является намагничивание путем индуцирования тока в контролируемой детали. Устройства для такого намагничивания представляют собой трансформатор, вторичной обмоткой которого (или частью сердечника) служит контролируемая деталь.

Продольное (полюсное) намагничивание осуществляется с помощью электромагнитов, постоянных магнитов или соленоидов. При этом обычно деталь намагничивается вдоль своего наибольшего размера. На ее краях образуются полюсы, создающие поле обратного направления.

Разновидностью полюсного намагничивания является поперечное намагничивание, когда деталь намагничивается в направлении меньшего размера.

Комбинированное намагничивание осуществляется при одновременном намагничивании детали двумя или несколькими изменяющимися магнитными полями. При этом можно применять любое сочетание видов тока.

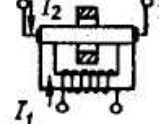
При комбинированном намагничивании необходимо, чтобы суммарный вектор намагнитченности поворачивался относительно оси детали хотя бы на 90° . Это достигается в результате применения совместного продольного и циркулярного намагничиваний и использования для них токов одного вида, отличающихся по фазе (или времени включения, например, для импульсных токов), или токов разного вида с соответствующими моментами включения или изменения их величины и направления.

Таблица 5.3

Основные способы и схемы намагничивания деталей при магнитных методах неразрушающего контроля

Виды намагничивания (по форме магнитного потока)	Способ	Схема
Продольное (полюсное)	Постоянным магнитом	
	Электромагнитом	
	Соленоидом	

Таблица 5.3

Виды намагничивания (по форме магнитного потока)	Способ	Схема
Циркулярное	Пропускание тока по детали	
	С помощью провода с током, перемещаемого в отверстии детали	
	С помощью контактов, устанавливаемых на деталь	
	Путем индукцирования тока в детали	
Комбинированное	Пропусканием тока по детали с помощью электромагнита	
	Пропусканием двух (или более) сдвинутых по фазе токов по детали во взаимно перпендикулярных направлениях	
	Путём индукцирования тока в детали и током, проходящим по проводнику, помещаемому в отверстие детали	

В табл. 5.3 приведены основные способы намагничивания, виды и сочетания токов, применяемые при неразрушающем контроле магнитными методами.

5.6. Методы и средства акустико-эмиссионной диагностики

5.6.1. Общие сведения

Акустическая эмиссия – это испускание объектом контроля (испытаний) акустических волн (ГОСТ 27655-88). Данное определение охватывает широкий круг явлений. Принято разделять явление АЭ в зависимости от физического источника на следующие виды:

1. Акустическая эмиссия материала – акустическая эмиссия, вызванная локальной динамической перестройкой структуры материала.

2. Акустическая эмиссия утечки – акустическая эмиссия, вызванная гидродинамическими и (или) аэродинамическими явлениями при протекании жидкости или газа через сквозную несплошность объекта испытаний.

3. Акустическая эмиссия трения – акустическая эмиссия, вызванная трением поверхностей твердых тел.

4. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях – акустическая эмиссия, связанная с фазовыми превращениями в веществах и материалах.

5. Магнитная акустическая эмиссия – акустическая эмиссия, связанная с излучением звуковых волн при перемагничивании материалов.

6. Акустическая эмиссия радиационного взаимодействия – акустическая эмиссия, возникающая в результате нелинейного взаимодействия излучения с веществами и материалами.

7. Акустическая эмиссия при химических и электрохимических реакциях – акустическая эмиссия, возникающая в результате протекания химических и электрохимических реакций, включая разнообразные коррозионные процессы.

Из перечисленных видов АЭ наибольшее применение для контроля промышленных объектов нашли первые три вида.

Особенностями метода АЭ, определяющими его возможности, параметры, области применения и достоинства, являются следующие.

1. Метод АЭ является комплексным методом исследования материалов и процессов, технической диагностики и неразрушающего контроля природных и промышленных объектов.

2. Метод АЭ обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам или каким-либо другим второстепенным или косвенным признакам критической или катастрофической ситуации, а по степени их опасности для контролируемого объекта, их влияния на прочность объекта.

При такой классификации может оказаться, что большие по размерам дефекты попадут в класс неопасных, не требующих ремонта элементов конструкции. Тем самым повышается надежность эксплуатации оборудования. Указанное качество метода АЭ позволяет принципиально по-новому подходить к определению опасности дефекта. Данное свойство, являющееся одним из наиболее важных достоинств и преимуществ метода АЭ, можно охарактеризовать как «адекватность» метода.

В большинстве случаев в НК под дефектом подразумевают несплошность материала объекта. Однако опасными нужно считать только те несплошности, которые развиваются, увеличиваются в размерах и приводят в конце концов к разрушению. В противном случае имеют место значительные потери из-за перебраковки. Объект может выйти из строя не только в

результате роста несплошностей, но также из-за изменения формы, потери устойчивости и ряда других причин. И в этих случаях АЭ сигнализирует о развитии нежелательных процессов.

3. Метод АЭ обладает высокой чувствительностью к растущим дефектам. Его чувствительность значительно превосходит чувствительность других методов. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры, по расчетным оценкам, составляет порядка $1 \cdot 10^{-6}$ мм², что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм. В производственных условиях метод АЭ позволяет выявить приращение трещины на десятые доли миллиметра.

4. Метод АЭ обладает свойством «интегральности», заключающимся в том, что, используя один или несколько преобразователей АЭ, установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект. Координаты дефектов определяются без сканирования поверхности объекта преобразователями. Следовательно, от состояния поверхности и качества ее обработки не зависят выполнение контроля и его результаты. Свойство интегральности особенно полезно в случае, когда доступ к поверхности контролируемого объекта затруднен или невозможен. Подобная ситуация характерна, например, для теплоизолированных трубопроводов и сосудов, объектов, размещенных под землей, конструкций, работающих в сложных условиях: ракет, самолетов, атомных реакторов и многих других объектов.

5. Дистанционность метода АЭ проявляется в том, что контроль можно производить при удалении оператора от контролируемого объекта. Поэтому контролю доступны такие протяженные объекты, как магистральные трубопроводы, недоступные объекты и др.

6. Возможность проведения АЭ контроля различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов в реальном времени. Например, контроль сварки в процессе ее проведения дает возможность оперативно осуществлять ремонт, не снимая изделия со стенда. Так, при электронно-лучевой сварке ремонт можно выполнять без разгерметизации камеры.

По сигналам АЭ возможно адаптивное управление параметрами технологического процесса; приборы АЭ могут стать элементом системы управления сварочным процессом. Актуально использование метода для отработки технологии сварки и выбора сварочных материалов. Кроме того, метод АЭ дает возможность судить об изменении напряженно-деформированного состояния материала объекта, о процессах коррозии под напряжением и действии других факторов, влияющих на долговечность конструкции.

7. В отличие от большинства методов НК, для которых на выявляемость дефекта и достоверность контроля влияют не только размеры дефек-

та, но и его вид (плоскостной или объемный), для метода АЭ форма, положение и ориентация дефекта не имеют существенного значения.

8. Метод АЭ имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой конструкционных материалов, чем другие методы НК.

Метод АЭ используют для контроля композиционных материалов, для которых применение других методов НК в ряде случаев затруднено или невозможно.

9. АЭ контроль и оценка технического состояния объекта могут производиться в реальном времени в процессе его работы, что позволяет предотвратить катастрофическое разрушение контролируемого объекта.

10. Метод АЭ во многих случаях при контроле промышленных объектов имеет высокое, возможно, и максимальное отношение эффективность / стоимость в области НК и Д.

5.6.2. Применение метода АЭ при диагностике производственных объектов

Применение метода АЭ ограничивается в ряде случаев из-за трудности выделения сигналов АЭ из помех и интерпретации сигналов АЭ. Это связано с тем, что сигналы АЭ являются шумоподобными, поскольку АЭ является случайным импульсным процессом. Поэтому, когда сигналы АЭ сравнимы по амплитуде с уровнем шумов, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу. Однако, когда размеры дефекта существенно увеличиваются и приближаются к критическому значению, амплитуда сигналов АЭ и темп их генерации резко увеличиваются. Это приводит к значительному возрастанию вероятности обнаружения такого источника АЭ.

Метод АЭ предъявляет повышенные требования к квалификации и добросовестности операторов.

АЭ контроль объектов проводится только при создании или существовании в конструкции напряженного состояния, инициирующего в материале объекта работу источников АЭ. Для этого объект подвергается нагружению силой, давлением, температурным полем и т. д. Выбор вида нагрузки определяется конструкцией объекта и условиями его работы, характером испытаний.

Традиционные методы НК используют, как правило, пространственно-ограниченные физические поля, возбуждаемые в изделии инструментом контроля. В отличие от известных методов, являющихся в этом смысле активными, метод АЭ можно отнести к пассивным методом НК, т. е. источником регистрируемого физического поля является сам дефект. Причем природа этого поля и его параметры обеспечивают получение такой информации, которую невозможно получить, применяя другие методы НК.

Как пассивный метод НК метод АЭ имеет определенное сходство с другими пассивными методами – тепловым, вибрационным и другими. Особенно он близок к вибрационному методу. Однако принципиальное отличие метода АЭ от вибрационного заключается в том, что метод АЭ при решении задачи обнаружения дефекта конструкции позволяет непосредственно выявить развивающиеся дефекты, а вибрационный метод выявляет только те дефекты, которые оказывают влияние на жесткость объекта как цельной конструкции и его вибрационные характеристики.

Метод АЭ рекомендуется использовать («Правила АЭ контроля. РД 03-131-97» [2]) по следующим схемам.

1. Проводят АЭ контроль объекта. В случае выявления источников АЭ в месте их расположения проводят контроль одним из традиционных методов неразрушающего контроля: ультразвуковым, радиационным, магнитным, капиллярным и другими, предусмотренными нормативно-техническими документами. Данную схему рекомендуется использовать при контроле объектов, находящихся в эксплуатации. При этом сокращается объем традиционных методов НК, поскольку в случае применения традиционных методов необходимо проведение сканирования по всей поверхности контролируемого объекта.

2. Проводят контроль объекта одним или несколькими методами НК. При обнаружении недопустимых (по нормам примененных методов контроля) дефектов или при возникновении сомнения в достоверности применяемых методов НК проводят контроль объекта с использованием метода АЭ. Окончательное решение о допуске объекта в эксплуатацию или к ремонту принимают по результатам проведенного АЭ контроля.

3. В случае наличия в объекте дефекта, выявленного одним из методов НК, метод АЭ используют для слежения за развитием этого дефекта (режим мониторинга). При этом может быть использован экономный вариант системы контроля с применением одноканальной или малоканальной конфигурации акустико-эмиссионной аппаратуры.

4. Метод АЭ в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. ПБ 10-115-96» и рядом других нормативных документов применяют при пневмоиспытании объекта в качестве сопровождающего метода, повышающего безопасность проведения испытаний. В этом случае целью применения АЭ контроля является обеспечение предупреждения возможности катастрофического разрушения. Рекомендуется использовать метод АЭ в качестве сопровождающего метода и при гидроиспытании объектов.

5. Метод АЭ используют для оценки прочности объекта, остаточного ресурса и решения вопроса относительно возможности дальнейшей эксплуатации объекта. Оценку ресурса производят с использованием специально разработанных методик. При этом достоверность результатов зави-

сит от объема и качества априорной информации о моделях развития повреждений и состоянии материала контролируемого объекта.

«Правилами АЭ контроля» [2] предусмотрен порядок применения метода АЭ:

- АЭ контроль проводят во всех случаях, когда он предусмотрен правилами безопасности или технической документацией на объект;
- АЭ контроль проводят во всех случаях, когда нормативно-технической документацией (НТД) предусмотрено проведение неразрушающего контроля (УЗК, радиографией, МПД, ЦД и другими методами), но по техническим или иным причинам проведение НК указанными методами затруднительно или невозможно;
- допускается применение АЭ контроля самостоятельно, а также вместо перечисленных выше методов НК по согласованию;
- АЭ метод может быть использован для оценки скорости развития дефекта в целях прекращения испытаний объекта и предотвращения его разрушения.

5.7. Вихретоковые методы контроля

5.7.1. Общие сведения

Вихретоковые методы основаны на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля. Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного расположения измерительного вихревого токового преобразователя (ВТП) и объекта. В качестве преобразователя используют обычно индуктивные катушки (одну или несколько). Синусоидальный (или импульсный) ток, действующий в катушках ВТП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или ее сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно него.

ЭДС (или сопротивление) преобразователя зависит от многих параметров объекта контроля, т. е. информация, представляемая сигналом преобразователя, является многопараметровой. Это определяет как преимущество, так и трудности реализации вихретоковых методов (ВТМ). С одной

стороны, ВТМ позволяют осуществить многопараметровый контроль, с другой – требуются специальные приемы для разделения информации об отдельных параметрах объекта. При контроле одного из параметров влияние остальных на сигнал преобразователя становится мешающим, поэтому это влияние необходимо подавлять.

Особенность вихретокового контроля заключается в том, что его можно проводить без контакта преобразователя и объекта. Их взаимодействие происходит обычно на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта (от долей миллиметра до нескольких миллиметров). Поэтому данными методами можно получать хорошие результаты контроля даже при высоких скоростях движения объектов.

Получение первичной информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля. Одна из особенностей ВТМ состоит в том, что на сигналы преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами.

Простота конструкции преобразователя – еще одно преимущество ВТМ. В большинстве случаев катушки помещают в предохранительный корпус и заливают компаундами. Благодаря этому они устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям, могут работать в агрессивных средах, в широком интервале температур и давлений.

ВТМ основаны на возбуждении вихревых токов, а поэтому применяются в основном для контроля качества электропроводящих объектов: металлов, сплавов, графита, полупроводников. Им свойственна малая глубина зоны контроля, определяемая глубиной проникновения электромагнитного поля в контролируруемую среду.

Несмотря на указанные ограничения, ВТМ широко используют для дефектоскопии, определения размеров и структуроскопии материалов и изделий.

В дефектоскопии с помощью ВТМ обнаруживают дефекты типа несплошностей, выходящих на поверхность или залегающих на небольшой глубине (в электропроводящих листах, прутках, трубах, проволоке, железнодорожных рельсах, мелких деталях и т.д.), например, разнообразные трещины, расслоения, закаты, плены, раковины, неметаллические включения и т. д. При благоприятных условиях и малом влиянии мешающих факторов удается выявить трещины глубиной 0,1–0,2 мм, протяженностью 1–2 мм (при использовании накладного преобразователя) или протяженностью около 1 мм и глубиной 1–5 % от диаметра контролируемой проволоки или прутка (при использовании преобразователя проходного).

ВТМ позволяют успешно решать задачи контроля размеров изделий. Этими методами измеряют диаметр проволоки, прутков и труб, толщину металлических листов и стенок труб при одностороннем доступе к объекту, толщину электропроводящих (например, гальванических) и диэлектрических (например, лакокрасочных) покрытий на электропроводящих основаниях, толщину слоев многослойных структур, содержащих электропроводящие слои. Измеряемые толщины могут изменяться в пределах от микрометров до десятков миллиметров. Для большинства приборов погрешность измерения 2–5 %. Минимальная площадь зоны контроля может быть доведена до 1 мм², что позволяет измерять толщину покрытия на малых объектах сложной конфигурации. С помощью ВТМ измеряют зазоры, перемещения и вибрации в машинах и механизмах.

Структурное состояние металлов и сплавов влияет на их электрические и магнитные характеристики. Благодаря этому оказывается возможным контролировать не только однородность химического состава, но и структуру металлов и сплавов, а также определять механические напряжения. Широко применяют вихретоковые измерители удельной электрической проводимости и другие приборы для сортировки металлических материалов и графитов по маркам (по химическому составу). С помощью вихретоковых приборов контролируют качество термической и химико-термической обработки деталей, состояние поверхностных слоев после механической обработки (шлифование, наклеп), обнаруживают остаточные механические напряжения, выявляют усталостные трещины в металлах на ранних стадиях их развития, обнаруживают наличие α -фазы и т. д.

5.7.2. Классификация и применение вихретоковых преобразователей

По рабочему положению относительно объекта контроля вихретоковые преобразователи (ВТП) делят на проходные, накладные и комбинированные.

Накладные ВТП обычно представляют собой одну или несколько катушек, к торцам которых подводится поверхность объекта (рис. 5.9). Катушки таких преобразователей могут быть круглыми коаксиальными (рис. 5.9, *а*), прямоугольными (рис. 5.9, *б*), прямоугольными крестообразными (рис. 5.9, *в*), с взаимно перпендикулярными осями (рис. 5.9, *г*) и др.

Накладные преобразователи выполняют с ферромагнитными сердечниками или без них. Благодаря ферромагнитному сердечнику (обычно ферритовому) повышается абсолютная чувствительность преобразователя и уменьшается зона контроля за счет локализации магнитного потока. На рис. 5.10 приведены некоторые типы преобразователей с сердечниками.

Здесь $2R$ – эквивалентный геометрический параметр ВТП, входящий в формулу для определения обобщенного параметра контроля p .

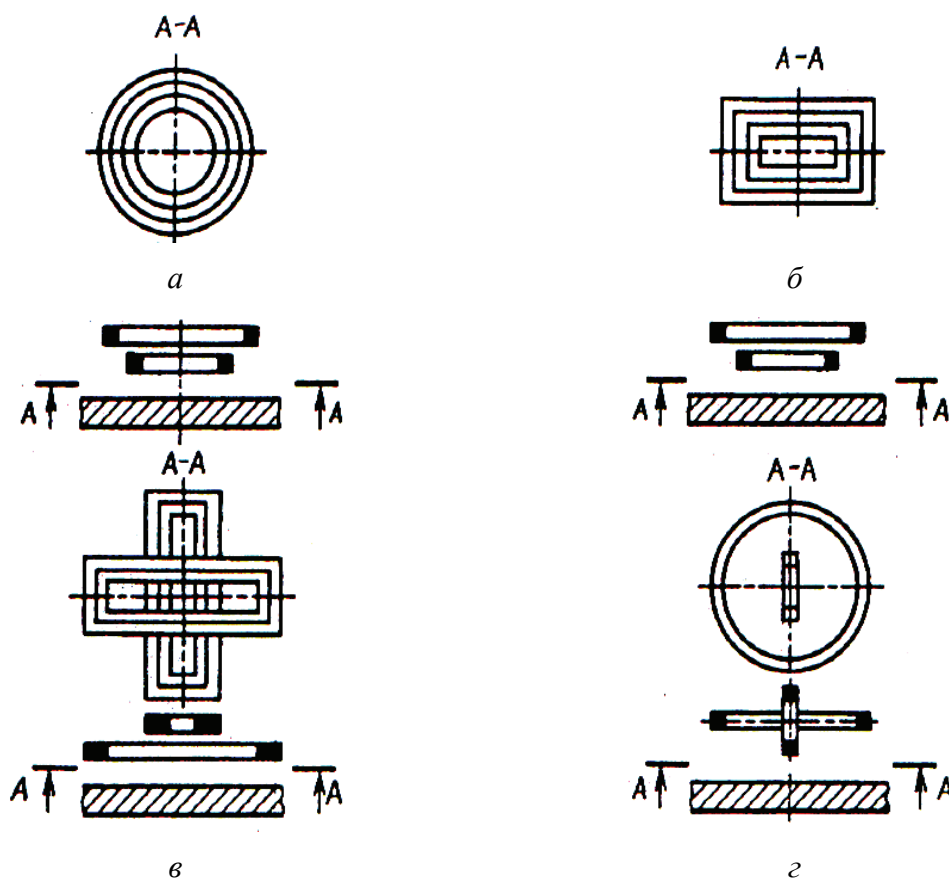


Рис. 5.9. Накладные преобразователи

Проходные ВТП делят на наружные, внутренние, погружные. Отличительная особенность проходных ВТП заключается в том, что в процессе контроля они проходят либо снаружи объекта, охватывая его (наружные, рис. 5.11, *о–в*), либо внутри объекта (внутренние, рис. 5.11, *г, д*), либо погружаются в жидкий объект (погружные, рис. 5.11, *е, ж*).

Обычно проходные ВТП имеют однородное магнитное поле в зоне контроля, в результате чего радиальные смещения однородного объекта контроля не влияют на выходной сигнал преобразователя. Для этого длина L_i возбуждающей обмотки должна не менее чем в 3–4 раза превышать ее диаметр $DВ$, а длина $LИ$ измерительной обмотки, размещенной в середине обмотки возбуждающей, должна быть значительно меньше длины последней. Однородное поле получают также, применяя возбуждающую обмотку, выполненную – в виде колец Гельм-гольца, а измерительную – в виде короткой катушки, причем $LИ \ll 2d$, $DИ \ll 2d$ (рис. 5.11, *в*).

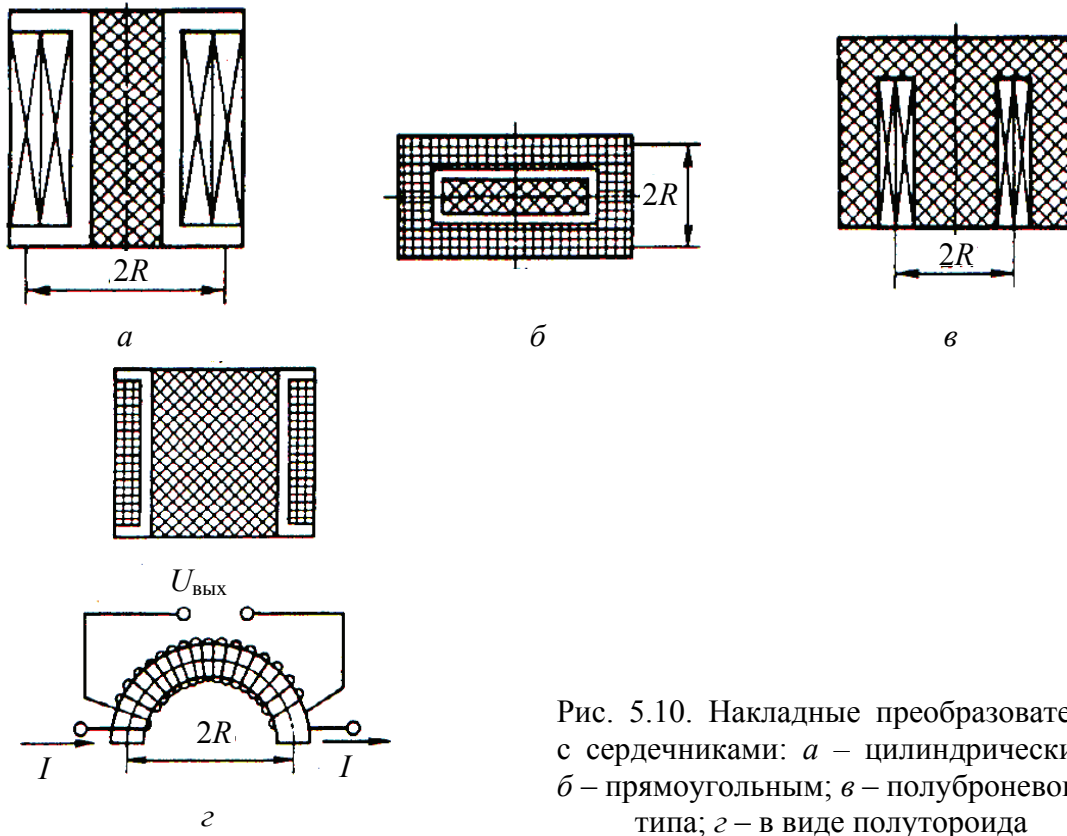


Рис. 5.10. Накладные преобразователи с сердечниками: *a* – цилиндрическим; *б* – прямоугольным; *в* – полуброневого типа; *г* – в виде полутороида

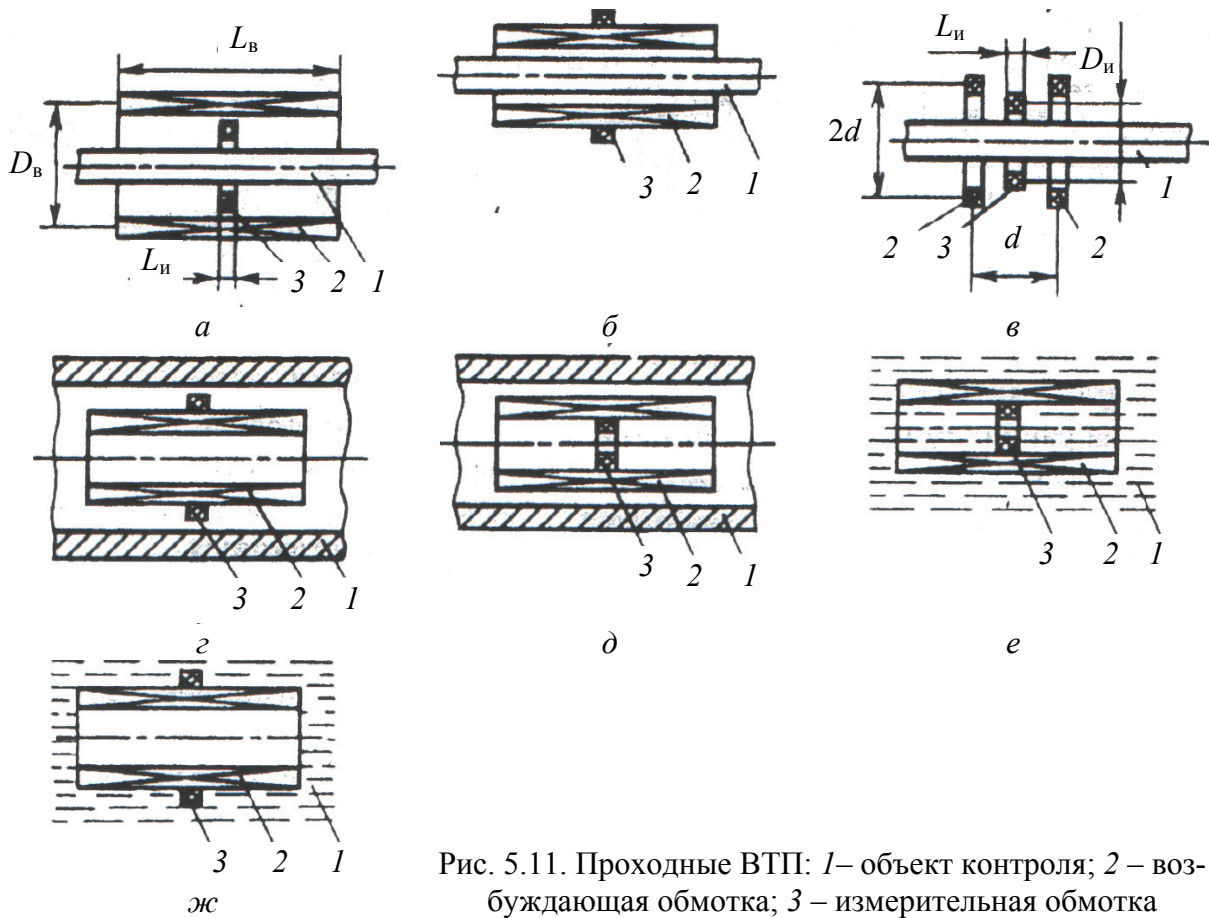


Рис. 5.11. Проходные ВТП: *1* – объект контроля; *2* – возбуждающая обмотка; *3* – измерительная обмотка

Комбинированные преобразователи представляют собой комбинацию накладных и проходных ВТП. На рис. 5.12, *a* показаны некоторые разновидности комбинированных ВТП. К ним относятся также ВТП в виде линейно-протяженных витков или рамок, которые можно условно назвать линейными (рис. 5.12, *б*).

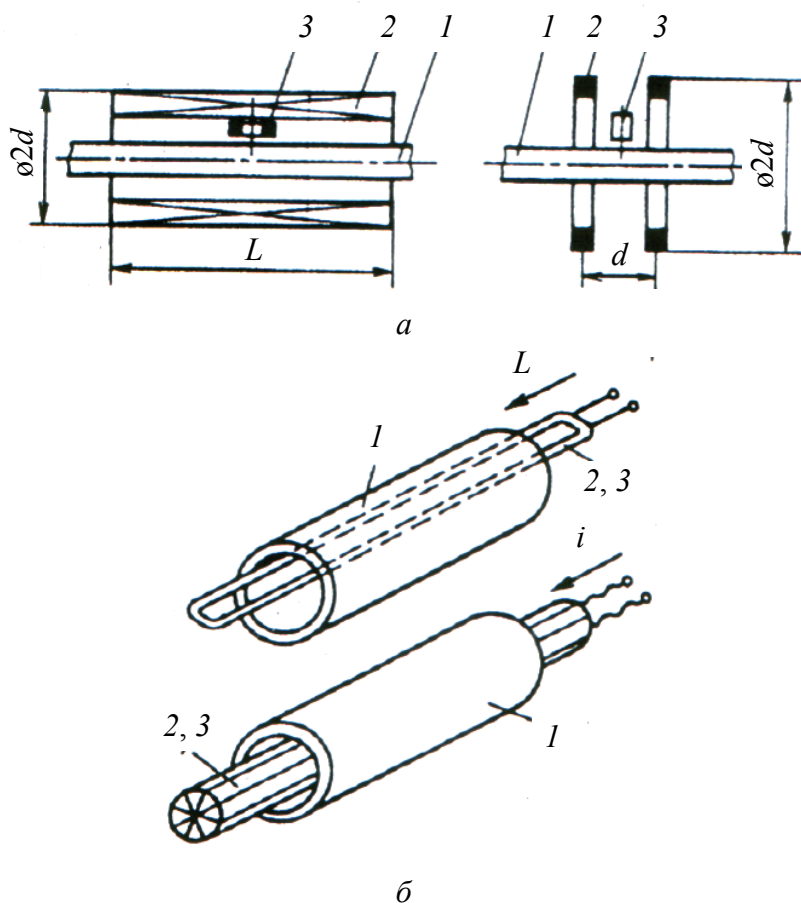


Рис. 5.12. Комбинированные ВТП: *a* – с проходной возбуждающей и накладной измерительными обмотками; *б* – линейные

Особую разновидность представляют собой экранные ВТП, отличающиеся тем, что их возбуждающие и измерительные обмотки разделены контролируемым объектом. Различают накладные экранные (рис. 5.13, *a*) и проходные экранные ВТП – соответственно, преобразователи первого и второго типов (рис. 5.13, *б, в*).

По виду преобразования параметров объекта в выходной сигнал ВТП делят на трансформаторные и параметрические. В трансформаторных, имеющих как минимум две обмотки (возбуждающую и измерительную), параметры объекта контроля преобразуются в напряжение измерительной

обмотки, а в параметрических, имеющих, как правило, одну обмотку, – в комплексное сопротивление. Преимущество параметрических ВТП заключается в их простоте, а недостаток, который в трансформаторных ВТП выражен значительно слабее, – в зависимости выходного сигнала от температуры преобразователя.

По способу соединения обмоток различают абсолютные и дифференциальные ВТП.

Выходной сигнал абсолютного ВТП определяется абсолютным значением параметров объекта, а дифференциального – приращениями этих параметров. На рис. 5.14 приведены схемы проходных трансформаторных ВТП (на рис. 5.14, *а* показана схема абсолютного ВТП, а на рис. 5.14, *б* – дифференциального).

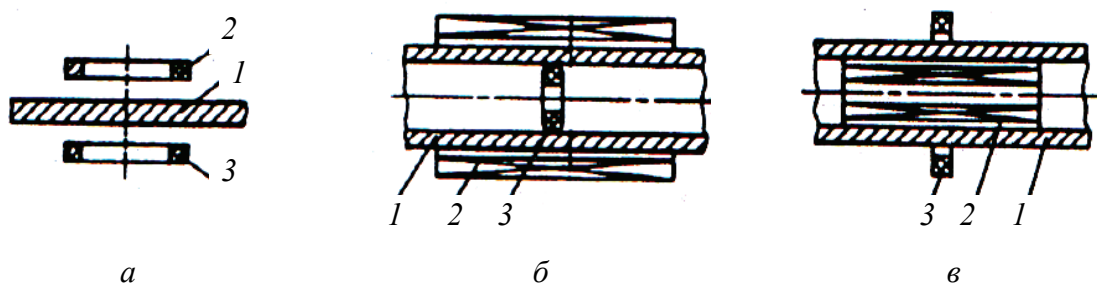


Рис. 5.13. Накладной (*а*) и проходные экранированные ВТП первого (*б*) и второго (*в*) типов (позиции см. на рис. 5.12)

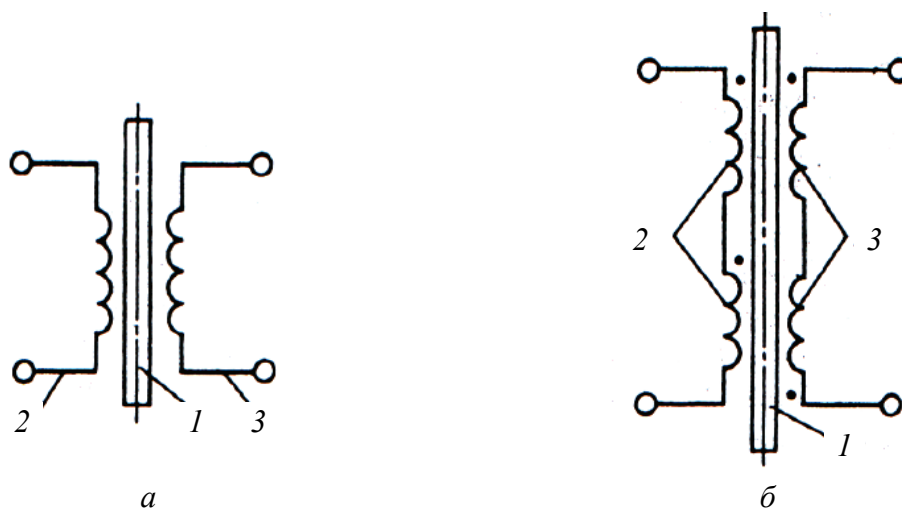


Рис. 5.14. Схемы проходных трансформаторных ВТП (позиции см. на рис. 5.11)

Выходной сигнал дифференциального ВТП зависит и от абсолютных значений параметров объекта, но при малых приращениях этих параметров можно считать, что он определяется только приращениями.

Накладными ВТП контролируют в основном объекты с плоскими поверхностями и объекты сложной формы. Эти преобразователи применяют также, когда требуется обеспечить локальность и высокую чувствительность контроля. Наружными проходными ЛЭГШ контролируют линейно-протяженные объекты (проволоку, прутки, трубы и т. д.); применяют их и при массовом контроле мелких изделий. Внутренними проходными ВТП контролируют внутренние поверхности труб, а также стенки отверстий в различных деталях. Проходные ВТП дают интегральную оценку контролируемых параметров по периметру объекта, поэтому они обладают меньшей чувствительностью к локальным вариациям его свойств.

Погружные ВТП применяют для контроля жидких сред, экранные накладные – для контроля листов, фольги, тонких пленок, а экранные проходные – для контроля труб.

С помощью дифференциальных ВТП «самосравнения» можно резко повысить отношение сигнал/помеха в дефектоскопии. При этом обмотки преобразователя размещают так, чтобы их сигналы исходили от близкорасположенных участков контроля одного объекта. Это позволяет уменьшить влияние плавных изменений электрофизических и геометрических параметров объектов. При использовании проходных преобразователей с однородным магнитным полем в зоне контроля значительно уменьшается влияние радиальных перемещений объекта. Применяя экранные накладные преобразователи, можно практически исключить влияние смещений объекта между возбуждающей и измерительной обмотками.

Преобразователи с взаимно перпендикулярными осями обмоток (рис. 5.9, *г*) нечувствительны к изменению электрофизических характеристик однородных объектов. При нарушении однородности объекта, например при появлении трещин, на выходе такого преобразователя возникает сигнал. Аналогично работают и комбинированные преобразователи (рис. 5.12, *а, б*). Они также могут быть применены для дефектоскопии. Их недостаток заключается в сильном влиянии перекосов осей преобразователей относительно поверхности объектов контроля.

Чтобы уменьшить влияние края объекта на сигналы ВТП, применяют концентраторы магнитного поля в виде ферритовых сердечников (рис. 5.10) и электропроводящие неферромагнитные экраны, вытесняющие магнитное поле из занятой ими зоны. При размещении экранов в торцах проходных преобразователей влияние краев объектов контроля уменьшается, но при этом ухудшается однородность поля в зоне контроля. Специальные экраны с отверстиями могут служить «масками», при этом отверстие служит источником магнитного поля, возбуждающего вихревые токи в объекте.

При использовании «масок» значительно снижается чувствительность ВТП, но повышается их локальность. Повышения локальности ВТП добиваются также комбинацией кольцевых ферромагнитных сердечников

с электропроводящими неферромагнитными (обычно медными) экранами и коротко-замкнутыми витками, вытесняющими магнитный поток из сердечников в зону контроля (рис. 5.15, *а*, *б*). Кольцевые ферритовые сердечники служат также основой щелевых ВТП, применяемых для контроля проволоки (рис. 5.15, *в*, *г*). Для ослабления влияния радиальных перемещений объекта контроля на сигналы ВТП применяют экранирование магнитопровода вблизи щели с целью повышения однородности магнитного поля в щели.

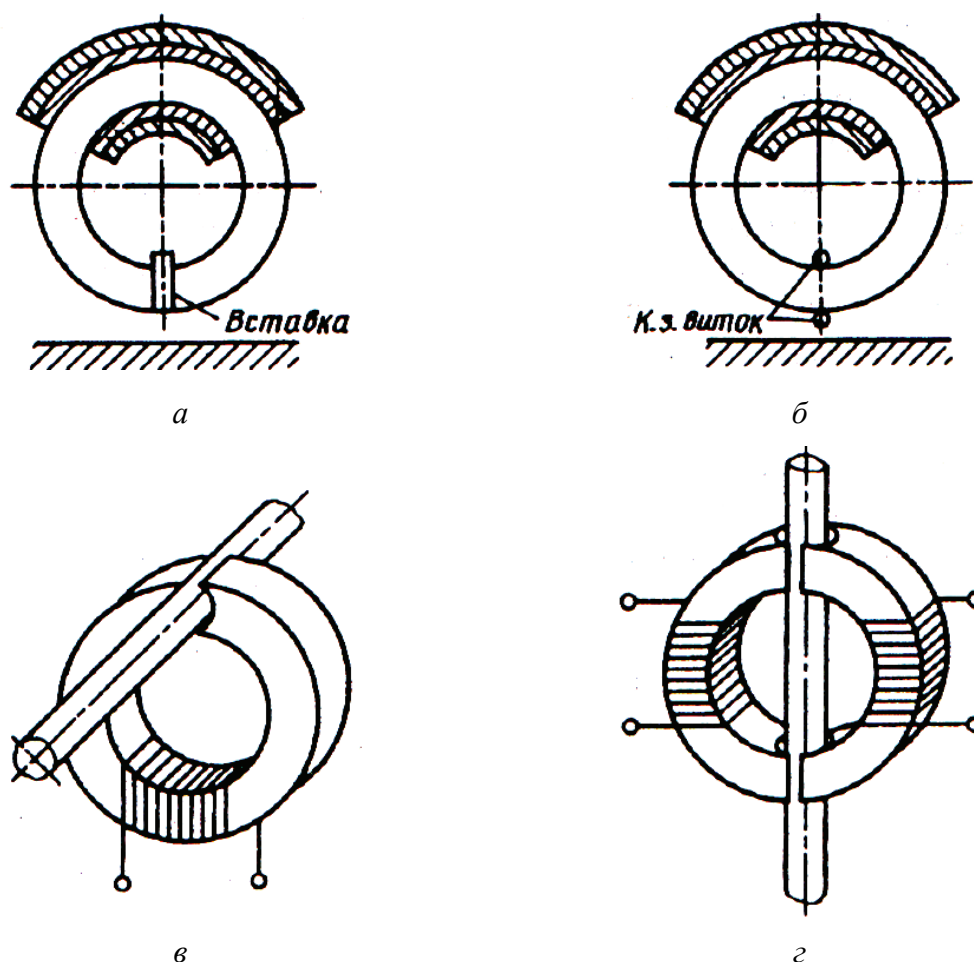


Рис. 5.15. Преобразователи с кольцевыми сердечниками: *а* – с медной вставкой (экраном) в зазоре; *б* – с коротко-замкнутым витком; *в*, *г* – с зазорами для контроля проволоки

Трансформаторные ВТП обычно включают по дифференциальной схеме. При этом возможны схема сравнения со стандартным образцом и схема «самосравнения». В первом случае рабочий и образцовый ВТП не связаны индуктивно и имеют независимые измерительные и возбуждающие обмотки. Во втором возбуждающая обмотка часто служит общей для

двух измерительных. При включении ВТП по дифференциальной схеме повышается стабильность работы прибора. Однако в ряде случаев измерительную обмотку включают последовательно с компенсатором, представляющим собой регулятор амплитуды и фазы напряжения. При этом компенсатор выполняет роль образцового ВТП: когда рабочий ВТП контролирует стандартный образец, то компенсатором устанавливается требуемое напряжение компенсации. Такая схема позволяет устранить нестабильность, связанную с разогревом стандартного образца вихревыми токами. При использовании дифференциальной схемы обычно не исключается применение компенсатора, который в этом случае необходим для компенсации напряжения, вызванного неидентичностью рабочего и образцового ВТП. Он включается последовательно со встречно-включенными измерительными обмотками.

Компенсаторы часто выполняют в виде разнообразных фазорегуляторов и аттенюаторов – пассивных (RC -и LC -типов) и активных. Эффективны компенсаторы в виде регуляторов действительной и мнимой составляющих вектора компенсирующего напряжения.

Параметрические ВТП включают в схему, преобразующую изменение их комплексного сопротивления в изменение амплитуды и фазы (или частоты) напряжения. При включении параметрических ВТП в резонансные контуры, а также в контуры автогенераторов абсолютная чувствительность устройства повышается. Часто параметрические ВТП включают в мостовые цепи, где два плеча моста образуются обмотками рабочего и образцового ВТП, а два других – резисторами. Подбирая параметры элементов моста, можно добиться уменьшения влияния мешающего фактора на сигналы ВТП, а также высокой чувствительности к контролируемому параметру даже при малой добротности катушки ВТП.

5.8. Радиоволновые и электрические методы контроля

5.8.1. Радиоволновый контроль

Радиоволновой неразрушающий контроль основан на анализе взаимодействия электромагнитного излучения радиоволнового диапазона с объектами контроля. На практике наибольшее распространение получили сверхвысокочастотные (СВЧ) методы, использующие диапазон длин волн от 1 до 100 мм. Взаимодействие радиоволн может носить характер только падающей волны (процессы поглощения, дифракции, отражения, прелом-

ления, относящиеся к классу радиооптических процессов) или падающей и отраженной волн (интерференционные процессы, относящиеся к области радиоголографии). Кроме того, в радиодефектоскопии могут использоваться специфические резонансные эффекты взаимодействия радиоволнового излучения (электронный парамагнитный резонанс, ядерный магнитный резонанс и др.).

Использование радиоволн перспективно по двум причинам: во-первых, достигается расширение области применения неразрушающего контроля, так как для контроля диэлектрических, полупроводниковых, ферритовых и композиционных материалов радиоволновые методы наиболее эффективны; во-вторых, появляется возможность использования радиоволн СВЧ диапазона.

К числу этих особенностей относятся следующие:

1. Диапазон СВЧ позволяет получить большой интервал мощностей генерируемых волн, что удобно для контроля материалов и сред различной степени прозрачности, от весьма тонких до таких, как мощные бетонные основания.

2. Волны СВЧ легко получить в виде когерентных поляризованных гармонических электромагнитных колебаний, а это дает возможность обеспечивать высокую чувствительность и точность контроля, используя интерференционные явления, возникающие при взаимодействии когерентных волн с диэлектрическим слоем.

3. С помощью СВЧ можно осуществить бесконтактный контроль качества при одностороннем расположении аппаратуры по отношению к объекту – способ контроля на отражение.

4. Волны диапазона СВЧ могут быть остро сфокусированы, что позволяет обеспечить локальность контроля, минимальный краевой эффект, помехоустойчивость по отношению к близкорасположенным предметам, исключить влияние температуры объекта контроля на измерительные датчики и т. п.

5. Информация о внутренней структуре, дефектах и геометрии содержится в большом числе параметров полезного СВЧ сигнала: амплитуде, фазе, коэффициенте поляризации, частоте и т. д.

6. Применение радиоволн СВЧ диапазона обеспечивает весьма малую инерционность контроля, позволяет наблюдать и анализировать быстропротекающие процессы.

7. Аппаратура диапазона СВЧ может быть выполнена достаточно компактной и удобной в эксплуатации.

8. При использовании резонансных радиоволновых СВЧ методов имеется возможность многопараметрового контроля геометрии, состава и структуры материалов в «здоровой» и «дефектной» зонах.

Преимущественная область применения методов и техники СВЧ – это контроль полуфабрикатов, изделий и конструкций из диэлектрических,

композитных, ферритовых и полупроводниковых материалов. При контроле объектов из различных металлов и сплавов радиоволны могут использоваться только для измерения геометрических размеров, так как от металлических структур радиоволны полностью отражаются. Поэтому измерение толщины металлических листов, проката, лент возможно только при двухстороннем расположении измерительных преобразователей.

Электромагнитная волна представляет собой совокупность быстропеременных электрического E и магнитного H полей, распространяющихся в определенном направлении z . В свободном пространстве электромагнитная волна поперечна, т. е. векторы E и H перпендикулярны направлению распространения волны z (продольная волна отсутствует) (рис. 5.16).

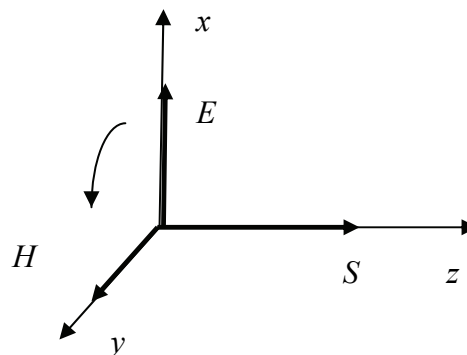


Рис. 5.16. Схема расположения векторов E , H и S в бегущей электромагнитной волне

При радиоволновом контроле диэлектрических материалов необходимо знать диэлектрическую постоянную ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \beta$ (обычно для диэлектриков магнитная проницаемость $\mu = 1$), для полупроводников и магнитных материалов необходимо учитывать ϵ и μ , для металлов в основном имеет значение величина проводимости η .

В неограниченной диэлектрической среде без потерь $\mu = 1$; $\eta = 0$, наличие магнитной составляющей поля связано с существованием электрической составляющей E , играющей основную роль в современных средствах контроля.

5.8.2. Электрические методы контроля

Электрические методы основаны на создании в контролируемом объекте электрического поля либо на непосредственном воздействии на него электрическим возмущением (например, электростатическим полем,

полем постоянного или переменного стационарного тока), либо косвенно с помощью воздействия возмущениями неэлектрической природы (например, тепловым, механическим и др.). В качестве первичного информативного параметра используются электрические характеристики объекта контроля.

К числу этих характеристик относятся электрическое сопротивление R , электрическая проводимость g , электрическая емкость C , относительная диэлектрическая проницаемость ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \beta$, электродвижущая сила E_h электрический ток и т. п.

Электрические методы классифицируются в зависимости от используемого первичного информативного параметра, способа получения первичной информации и характера взаимодействия электрического поля с объектом. Прежде всего следует выделить группы электропараметрических и генераторных методов.

К электропараметрическим, согласно ГОСТ 25315, относятся методы, основанные на регистрации электрических характеристик объекта контроля (их еще называют методами, использующими внешние источники электрического сигнала). Наиболее распространенными методами этой группы являются:

- *электроемкостный метод* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации емкости участка объекта контроля;
- *электропотенциальный метод* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации распределения потенциалов по поверхности объекта контроля;
- *электроискровой метод* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации возникновения электрического пробоя и (или) изменений его параметров в окружающей объект контроля среде или на его участке;
- *метод контактной разности потенциалов* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации контактной разности потенциалов на участках объекта контроля, через который пропускается электрический ток;
- *метод электрического сопротивления (электрорезистивный метод)* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации электрического сопротивления участка объекта контроля.

К группе генераторных относятся методы, основанные на регистрации электрических сигналов, формируемых самим объектом контроля (их еще называют методами, использующими собственные источники электрических сигналов). Наиболее распространенными методами этой группы являются:

- *термоэлектрический метод* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации величины термоэлектродви-

жущей силы, возникающей при прямом контакте нагретого образца известного материала с объектом контроля;

- *трибоэлектрический метод* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации величины электрических зарядов, возникающих в объекте контроля при трении разнородных материалов;

- *метод рекомбинационного излучения* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации рекомбинационного излучения p – n переходов в полупроводниковых изделиях;

- *метод экзоэлектронной эмиссии* – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации экзоэлектронов, эмитированных поверхностью контролируемого объекта при приложении к нему внешнего стимулирующего воздействия.

Каждый из методов обладает определенными преимуществами и недостатками, имеет специфику применения и области наиболее эффективного использования. В совокупности электрические методы успешно применяют при решении задач дефектоскопии, толщинометрии, структуроскопии, термометрии объектов из электропроводящих и диэлектрических материалов.

Емкостный метод контроля (ЭМК) предусматривает введение объекта контроля или его исследуемого участка в электростатическое поле и определение искомых характеристик материала по вызванной им обратной реакции на источник этого поля (рис. 5.17). В качестве источника поля применяют электрический конденсатор, который является одновременно первичным емкостным преобразователем (ЭП), так как осуществляет преобразование физических и геометрических характеристик объекта контроля в электрический параметр.

Обратная реакция ЭП проявляется как изменение его интегральных параметров, чаще всего двух параметров, из которых один характеризует «емкостные» свойства ЭП, а другой – диэлектрические потери (например, емкость и тангенс угла потерь – составляющие комплексной проводимости). Эти параметры являются первичными информативными параметрами ЭМК.

Информативность ЭМК определяется зависимостью первичных информативных параметров ЭП от характеристик объекта контроля – непосредственно от электрических характеристик (например, диэлектрической проницаемости и коэффициента диэлектрических потерь) и геометрических размеров объекта контроля. Косвенным путем с помощью ЭМК можно определять и другие физические характеристики материала: плотность, содержание компонентов в гетерогенных системах, влажность, степень полимеризации и старения, механические параметры, радиопрозрачность и пр. К наиболее информативным геометрическим параметрам объекта контроля следует отнести толщину пластин, оболочек и диэлектрических по-

крытий на проводящем и непроводящем основаниях, поперечные размеры линейно-протяженных проводящих и диэлектрических изделий (нитей, стержней, лент, прутков), локализацию проводящих и диэлектрических включений и др. (рис. 5.18).

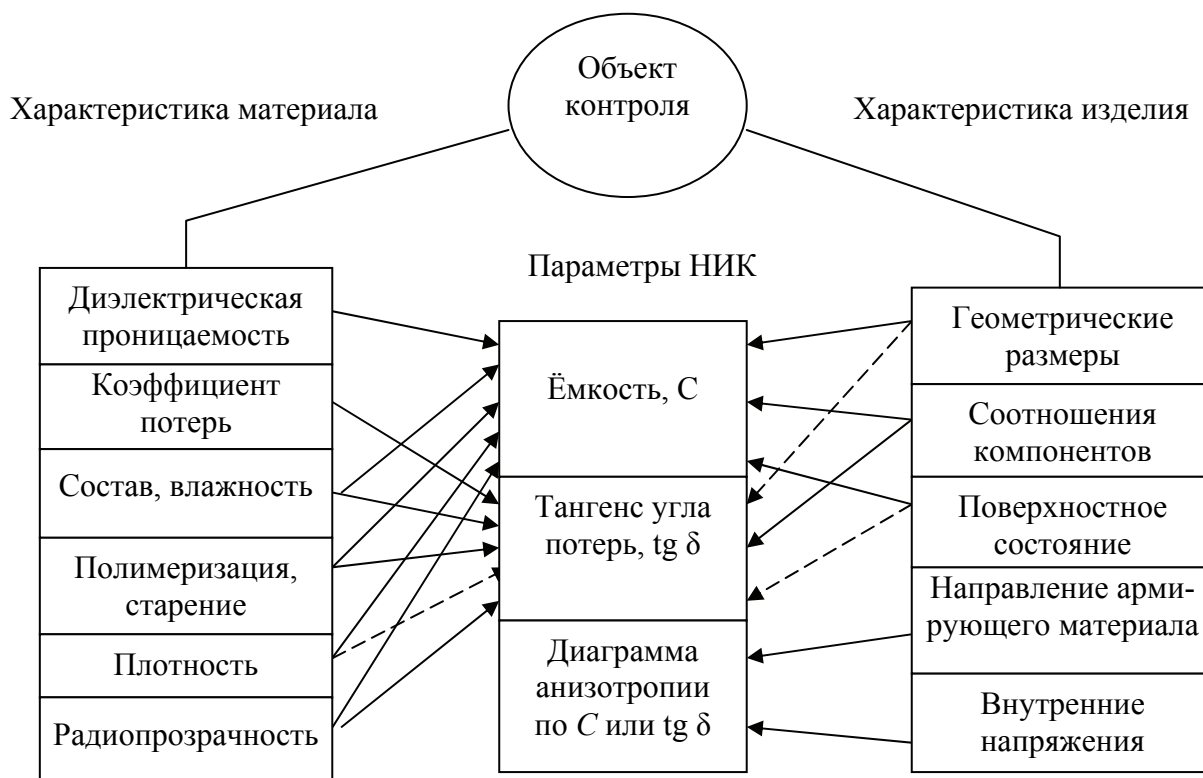


Рис. 5.17. Схема воздействия характеристик объекта контроля на электрические параметры электроёмкостного преобразователя. Корреляционные связи между контролируемыми и информативными параметрами (сплошная линия – сильные, штриховая – слабые)

Следует отметить, что информативные параметры ЭП зависят также от его конструкции и электрических характеристик среды, в которую помещен объект контроля. Первое обстоятельство учитывается при оптимизации конструкции ЭП, второе обычно является причиной возникновения мешающих контролю факторов. Как видно на рис. 5.18, в качестве первичного информативного параметра наиболее целесообразно использовать емкость ЭП и тангенс угла потерь. Однако для изучения анизотропных свойств объекта контроля необходимо пользоваться диаграммой зависимости диэлектрических параметров от направления вектора напряженности поля, созданного в объекте контроля. По назначению электроёмкостные методы контроля могут быть классифицированы на три группы: измерение

параметров состава и структуры материала, определение геометрических размеров объекта контроля, контроль влажности.

Влажность измеряется с помощью влагомеров. Выделение этого метода в отдельную группу объясняется, во-первых, наиболее широким применением ЭМК для контроля влажности, а во-вторых, рядом особенностей контроля, обусловленных влиянием видов влаги на свойства материалов.

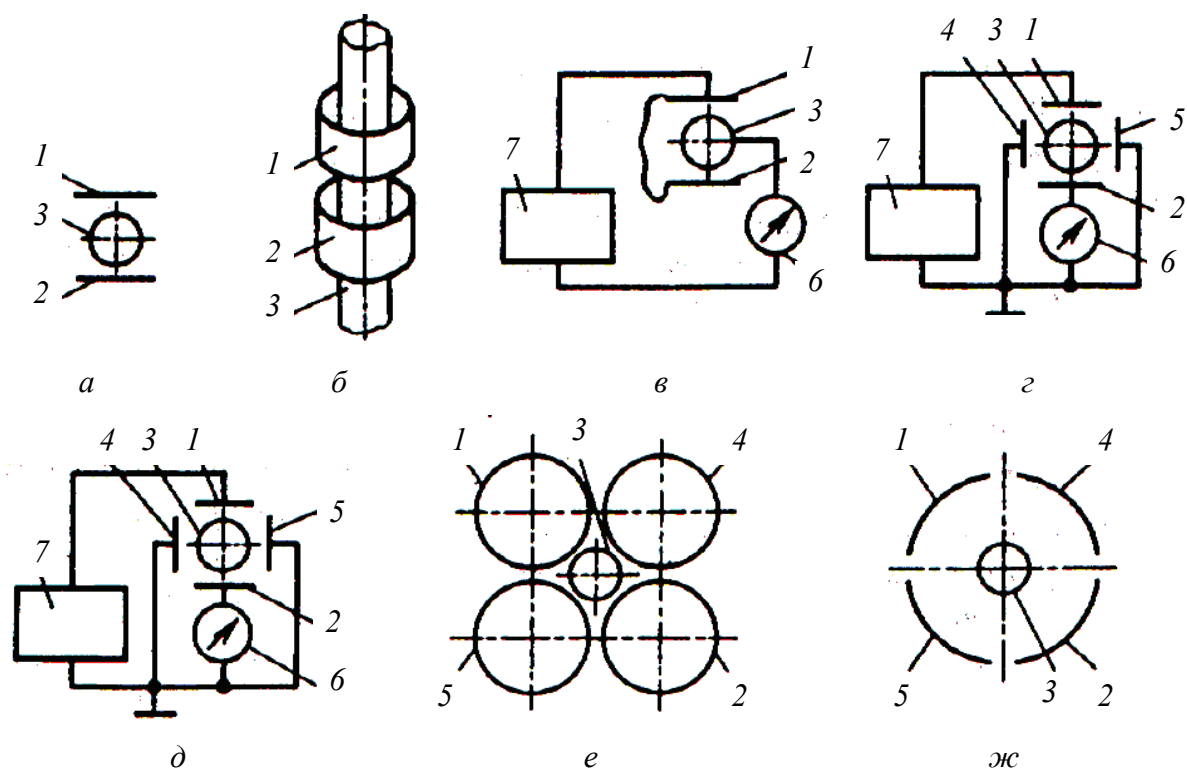


Рис. 5.18. Конструкция проходных ЭП с измерением ёмкости: а-в – полной; г-д – частичной; е-ж – перекрёстной: 1 – высокопотенциальный электрод; 2 – низкопотенциальный электрод; 3 – объект контроля; 4, 5 – охранные электроды; 6 – индикатор; 7 – источник питания

Применение ЭМК характеризуется следующими основными особенностями:

1. Информация, получаемая от объекта контроля, многопараметрическая, что, с одной стороны, свидетельствует в пользу этого метода, так как позволяет получить более подробные сведения (совокупность сведений) об объекте контроля, а с другой, – создает дополнительные трудности при разделении параметров контроля. Так, при измерении одного из параметров на результат контроля оказывают влияние другие параметры, являющиеся мешающими факторами;

2. Возможность проведения бесконтактных измерений в динамическом режиме, что играет важную роль при автоматизации процесса контроля;

3. ЭМК позволяет получить информацию о средних значениях контролируемых параметров в сравнительно больших объемах материала или локализовать поле в определенном участке, а также на определенной глубине исследуемого материала.

Для контроля размеров поперечного сечения линейно-протяжных изделий (например, проволоки, ленты, полосы, фольги, прутков и пр.) применяют проходные ЭП. В зависимости от схемы включения электродов и объекта контроля конструкции ЭП бывают двух- и трехзажимными. Их работа основана на измерении полной или частичной емкости.

Усложняющиеся задачи по повышению качества промышленной продукции и надежности объектов требуют дальнейшего совершенствования методов и средств неразрушающего контроля и диагностики. Применение отдельных классических методов и средств становится не эффективным. Применение систем диагностики удорожает продукцию при выпуске и эксплуатации. Однако её использование на всех стадиях изготовления, проверки и эксплуатации существенно повышает надежность изделий и объектов, обеспечивая в итоге огромный экономический эффект.

6. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

6.1. Системы и методы технического обслуживания и ремонта [11]

Построение системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) горной техники на горнодобывающих предприятиях основывается на следующих принципах:

1. Оборудование должно быть распределено и закреплено за определенными лицами эксплуатационного, обслуживающего и ремонтного персонала, которые несут ответственность за его техническое состояние и работоспособность.

2. Участки горнодобывающего предприятия, использующие оборудование, должны быть укомплектованы эксплуатационным, обслуживающим и ремонтным персоналом, имеющим соответствующую квалификацию.

3. Основными техническими источниками, определяющими порядок проведения ТО и Р являются нормативные документы отрасли.

4. Оборудование должно подвергаться ТО и Р в соответствии с разрабатываемыми и утверждаемыми планами (графиками) и установленными периодичностью и продолжительностью.

5. Основным нормативно-техническим документом, определяющим порядок производства отдельных работ ко всем видам ТО и Р, является эксплуатационная документация, разрабатываемая в соответствии с нормативными документами отрасли.

6. Подлежащие выполнению составы и объемы ТО и Р должны выполняться с указанием необходимых мер безопасности, сопровождающихся оформлением необходимой документации (технологическими картами, инструкциями, нарядами и др.).

7. Основным техническим документом, устанавливающим технологию производства всех видов ремонта оборудования, является ремонтная документация, разрабатываемая в соответствии с действующими в отрасли нормативными документами.

8. Все виды работ по ТО и Р оборудования должны выполняться качественно, в установленные сроки и с максимальной механизацией тяжелых и трудоемких работ.

9. При работе оборудования следует применять агрегатно-узловой метод ремонта, сокращая число ремонтных работ по заменам отдельных деталей.

10. Персонал, занятый ТО И Р оборудования, обязан строго соблюдать установленные правила безопасности и противопожарной охраны.

Целью системы ТО и Р оборудования является разработка и осуществление совокупности организационно-технических и социально-экономических мероприятий по планированию, подготовке, проведению, контролю и учету различного вида работ, проводимых по заранее составленному плану и обеспечивающих безотказную, безопасную и экономичную работу машин.

В практике технической эксплуатации горной техники получили применение следующие системы организации ремонта.

Система организации послеосмотровых ремонтов. Она основана на осмотрах оборудования, которые производятся не в строго установленные сроки. По их результатам определяют состояние оборудования и назначают сроки и виды ремонтов, устанавливают количество заменяемых деталей. При такой системе затруднено планирование ремонтов, так как заранее не устанавливают время остановки оборудования на ремонт и его продолжительность.

Система организации периодических ремонтов. Она основана на том, что время работы оборудования между очередными осмотрами и ремонтами определяется заранее с учетом режимов работы и сложности конструкции. Замену деталей и сборочных единиц не планируют, а производят в соответствии с фактической необходимостью, установленной при проведении плановых осмотров и ремонтов.

Обе перечисленные выше системы применяют для оборудования, работающего в сезонном режиме, а также при переменных нагрузках.

Система организации стандартных ремонтов. Данная система основана на обязательном периодическом обновлении оборудования путем единовременной смены части деталей и сборочных единиц. При этом для каждого из видов ремонтов заранее установлен точный перечень деталей и сборочных единиц, заменяемых в установленный планом срок независимо от их состояния.

Недостаток системы заключается в высокой стоимости, вызванной тем, что заменяются часто детали с невыработанным ресурсом. Систему применяют для оборудования, работающего при установленном режиме (вентиляторы, насосы, компрессоры, подъемные машины).

Система организации планово-предупредительных ремонтов (ППР). Система ППР – это комплекс взаимосвязанных положений и норм, определяющих организацию и порядок проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования с целью содержания его в работоспособном состоянии.

Положение о ППР оборудования устанавливает виды и регламенты технического обслуживания и плановых ремонтов, организацию их проведения, основные нормативно-технические документы, ремонтные нормы, организацию смазочного хозяйства, учет и движение оборудования, контроль за соблюдением действующих правил и норм по техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации оборудования. Система ППР включает в себя следующие мероприятия:



1. Ежедневное;
2. Ежесуточное;
3. Ежедекадное;
4. Месячное;
5. Сезонное;
6. Текущее – ТО-1, ТО-2, ТО-3 и др.

1. Ремонтные осмотры – РО;
2. Текущие – Т1, Т2, Т3;
3. Полугодовые наладки и ревизии;
4. Годовые наладки и ревизии;
5. Капитальный ремонт – К;

6.1.1. Система планово-предупредительных ремонтов

Планово-предупредительный ремонт проводится для предотвращения прогрессирующего износа, поломок и преждевременного выхода из строя действующего оборудования для поддержания его в постоянной эксплуатационной готовности и обеспечения эффективной и безопасной работы. ППР состоит из циклически повторяющихся во времени профилактических работ по осмотру и ремонту оборудования [1].

Под системой ППР понимается совокупность организационных и технических мероприятий по эксплуатации, обслуживанию и ремонту оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и на повышение надежности оборудования.

Сущность системы ППР заключается в том, что после наработки оборудованием определенного количества часов производятся технические осмотры и различные виды плановых ремонтов этого оборудования, чередование и периодичность которых определяются назначением, конструктивными особенностями и условиями его эксплуатации.

Основным методом системы ППР является метод периодического ремонта, при котором очередные плановые ремонты оборудования выполняются в заранее установленные сроки после наработки им определенного количества часов, причем содержание каждого ремонта уточняется в процессе проведения технического осмотра оборудования в зависимости от состояния отдельных его деталей и узлов. Ремонт электрооборудования осуществляется в те же сроки, что и ремонт механического оборудования.

Для оборудования, определяющего производственную мощность цеха (предприятия) и работающего без резерва, должен применяться такой метод ремонта, при котором в установленный срок в обязательном порядке выполняется весь объем каждого из очередных видов ремонта.

Основным содержанием системы ППР являются:

- обязательное выполнение правил технической эксплуатации оборудования и норм его технического обслуживания;

- своевременное и качественное проведение плановых ремонтов оборудования.

В системе ППР по вопросам эксплуатации оборудования, планирования и проведения ремонтных работ, учета и отчетности приняты как установленные ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения», так и не стандартизированные следующие понятия и термины (табл. 6.1). Принятый в ГОСТ 18322-78 термин «изделие» в табл. 6.1 заменен на термин «оборудование» [12].

Таблица 6.1

Основные термины в системе ППР

Термин	Определение
Оборудование	Орудия производства, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них и при необходимости – источники энергии
Агрегат	Совокупность ряда машин, механизмов, устройств и сооружений, связанных единым технологическим процессом и предназначенных для совместной эффективной работы
Машина	Комплекс механизмов, предназначенных для выполнения полезной работы связанной с процессом производства или транспортирования, либо преобразования энергии
Механизм	Система кинематических взаимосвязанных узлов и деталей, предназначенная для совершения определенных целесообразных движений
Узел	Разъемное или неразъемное соединение нескольких деталей, представляющее собой сборочную единицу, входящую в машину

Термин	Определение
Деталь	Элемент машины, представляющий собой, одно целое, который не может без разрушения быть разобран на более простые составляющие звенья
Эксплуатация	Совокупность всех фаз использования оборудования по назначению и всех видов его обслуживания
Наработка	Продолжительность или объем работы оборудования
Исправное состояние	Состояние оборудования, при котором оно соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией
Агрегат	Совокупность ряда машин, механизмов, устройств и сооружений, связанных единым технологическим процессом и предназначенных для совместной эффективной работы
Машина	Комплекс механизмов, предназначенных для выполнения полезной работы, связанной с процессом производства или транспортирования, либо преобразования энергии
Механизм	Система кинематических взаимосвязанных узлов и деталей, предназначенная для совершения определенных целесообразных движений
Узел	Разъемное или неразъемное соединение нескольких деталей, представляющее собой сборочную единицу, входящую в машину
Деталь	Элемент машины, представляющий собой, одно целое, который не может без разрушения быть разобран на более простые составляющие звенья
Эксплуатация	Совокупность всех фаз использования оборудования по назначению и всех видов его обслуживания
Наработка	Продолжительность или объем работы оборудования
Исправное состояние	Состояние оборудования, при котором оно соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией
Надежность	Свойство оборудования выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения, транспортирования
Работоспособность, неисправность	Состояние оборудования, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией
Неисправность	Состояние оборудования, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией
Износ	Результат изнашивания машины, оцениваемый непосредственно по изменению размеров или по косвенным признакам
Изнашивание (в машинах)	Процесс постепенного изменения размеров детали машины по ее поверхности, происходящий при трении
Износостойкость (в машинах)	Способность материала (либо детали машины, либо сочетания сопряженных материалов или деталей машин) оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях службы или испытания

Термин	Определение
Прочность	Способность материала сопротивляться разрушению и образованию остаточных деформаций от действия напряжений
Срок службы	Календарная продолжительность эксплуатации оборудования
Ремонт, техническое обслуживание	Комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности оборудования и восстановлению ресурсов оборудования или его составных частей
Ремонтный цикл	Комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности оборудования при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании
Межремонтный период	Наименьшие повторяющиеся интервалы времени или наработка оборудования, в течение которых выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации все установленные виды ремонта
Структура ремонтного цикла	Перечень и последовательность повторяющихся плановых технических осмотров и ремонтов оборудования, выполняемых на протяжении ремонтного цикла
Периодичность технического обслуживания (ремонта)	Интервал времени или наработки между данным видом технического обслуживания (ремонта) и последующим таким же видом или другим большей сложности
Продолжительность технического обслуживания (ремонта)	Календарное время проведения одного технического обслуживания (ремонта) данного вида
Трудоемкость технического обслуживания (ремонта)	Трудозатраты на проведение одного технического обслуживания (ремонта) данного вида
Плановый ремонт	Ремонт, постановка на который осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации
Текущий ремонт	Ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности оборудования и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных частей
Капитальный ремонт	Ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые
Модернизация (оборудования)	Приведение машин или технологических установок в соответствие с современными требованиями путем относительно незначительных изменений конструкции материала или метода обработки
Запасная часть	Составная часть оборудования, предназначенная для замены находившейся в эксплуатации такой же части с целью поддержания или восстановления исправности или работоспособности оборудования
Консервация оборудования	Специальная обработка деталей и узлов оборудования для предотвращения коррозии во время хранения, транспортирования или длительной временной остановки

Эффективное использование оборудования возможно лишь при рациональной его эксплуатации и бережном отношении к нему со стороны обслуживающего персонала. В соответствии с действующими Правилами технической эксплуатации основного технологического оборудования различных отраслей к работе по обслуживанию и ремонту оборудования допускаются лица, признанные медицинской комиссией годными для выполнения работы по профессиям и усвоившие правила технической эксплуатации (ПТЭ), инструкции по профессии, правила и инструкции по технике безопасности, охране труда и производственной санитарии, должностные инструкции.

Эксплуатационный персонал должен знать: устройство обслуживаемого оборудования; назначение контрольно-измерительных приборов; технологический режим работы; правила безопасной эксплуатации оборудования; действия эксплуатационного персонала при авариях на оборудовании и несчастных случаях; порядок приема и сдачи смены.

Знание ПТЭ эксплуатационным и ремонтным персоналом проверяется специальной экзаменационной комиссией в сроки, установленные ПТЭ. Лицам, успешно сдавшим экзамены, должно быть выдано удостоверение на право работы по данной профессии.

Контроль за выполнением ПТЭ возлагается на инженерно-технический персонал, в обязанности которого входят обслуживание и ремонт оборудования.

Техническое обслуживание оборудования представляет собой комплекс мероприятий, направленных на предупреждение преждевременного износа машин и агрегатов путем точного выполнения правил технической эксплуатации, а также своевременного устранения мелких неисправностей.

Техническое обслуживание включает:

- ежедневное техническое обслуживание;
- ежесуточную проверку правильной эксплуатации и технического состояния оборудования;
- периодические технические осмотры (ТО), выполняемые после наработки оборудованием определенного количества часов.

Ежедневное техническое обслуживание является основным профилактическим мероприятием, направленным на увеличение межремонтных периодов. Для своевременного и качественного обслуживания оборудования администрация предприятия обязана выполнить следующее:

- закрепить все оборудование за эксплуатационным персоналом, назначив приказом по предприятию лиц из числа инженерно-технических работников, ответственных за технически исправное состояние, безопасную и правильную эксплуатацию оборудования;

- установить порядок осуществления и оформления передачи и приема оборудования по сменам (сменными мастерами, бригадами, машинистами, аппаратчиками и др.);

- ознакомить под расписку и обеспечить эксплуатационный персонал инструкцией по эксплуатации и обслуживанию оборудования;

- снабдить эксплуатационный персонал инструментом, приборами, смазочным инвентарем и другими техническими средствами, необходимыми для ухода за оборудованием.

Инструкция по ежесменному техническому обслуживанию и уходу за оборудованием должна содержать следующее:

- перечень и последовательность всех операций и работ, которые эксплуатационный персонал обязан производить в течение смены;

- перечень наиболее часто встречающихся неисправностей оборудования и признаков, свидетельствующих об их наличии;

- описание способов устранения наиболее часто встречающихся неисправностей, а также перечень необходимых для этого инструментов, приборов, материалов, приспособлений и других технических средств;

- указания по безопасным методам обслуживания оборудования;

- правила содержания рабочих мест;

- указания о составе профилактических работ при приемке смены и при подготовке оборудования к сдаче новой смене.

В объем ежесменного технического обслуживания оборудования входят:

- регулярный наружный осмотр, очистка, проверка наличия оборудования и смазка его в соответствии с режимом смазки и ПТЭ смазочных систем;

- проверка работы предохранительных устройств, состояния масляных и охлаждающих систем, наличия и исправности ограждающих устройств;

- наблюдение за работой контрольно-измерительных приборов и автоматических устройств, за натяжением и состоянием ремней, тросов, цепей, за состоянием крепежных деталей;

- проверка действия тормозов и приспособлений для остановки оборудования;

- регулирование оборудования;

- устранение мелких неисправностей и др.

Ежесменным техническим обслуживанием предусматривается обязательная, правильно организованная передача оборудования по сменам.

Администрация предприятия определяет перечень оборудования, на которое обязательно ведение журнала приема и сдачи смен.

Принимая оборудование, сменный мастер, бригадир или машинист лично проверяет состояние оборудования и качество его уборки.

Все замеченные ненормальности в работе оборудования должны быть зафиксированы в журнале приема и сдачи смен или в сменном рапорте начальника (мастера) смены и устранены.

Ежесуточная проверка правильной эксплуатации и технического состояния оборудования предупреждает преждевременный выход его из строя. Проверка осуществляется лицами, ответственными за технически исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования. Все замеченные ими неисправности оборудования должны быть зафиксированы в журнале приема и сдачи смен и устранены.

Технические осмотры производятся для проверки технического состояния оборудования, выявления и устранения неисправностей, а также определения объема предстоящего планового ремонта.

Результаты осмотров заносятся в формуляр оборудования (согласно ГОСТ 2.601-68), а в случае отсутствия формуляра – в агрегатный журнал.

Технические осмотры оборудования выполняются эксплуатационным персоналом с участием ремонтного персонала по графику, как правило, в ремонтные смены и дни, а также в периоды технологических простоев.

Для выполнения технических осмотров непрерывно действующего оборудования должно предусматриваться специальное время.

В объем технического осмотра входят:

- вскрытие люков и крышек, осмотр и проверка состояния узлов и механизмов, выполнение мелких ремонтных работ;
- выявление и уточнение объема работ ближайшего планового ремонта;
- регулирование основных узлов;
- проверка правильности переключения и исполнения команд, поданных с пульта управления;
- проверка исправности ограничителей и упоров.

Наладка сложного или уникального оборудования выполняется по специальным инструкциям заводов-изготовителей или организаций, разработавших это оборудование, с привлечением в необходимых случаях специализированных наладочных организаций.

Подъемно-транспортное оборудование, технологические сосуды, работающие под давлением, и подъемники подвергаются освидетельствованиям, испытаниям, надзору и обслуживанию в соответствии с требованиями Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением и Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.

Техническое освидетельствование и надзор за работой шахтных подъемных установок и вентиляторов главного проветривания осуществляются в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом.

Системой ППР предусматриваются ремонты двух видов: текущий (Т) и капитальный (К). При наличии в оборудовании узлов и деталей с большой разницей в износостойкости предусматриваются различные по объему текущие ремонты (Т1 и Т2).

Текущий ремонт – вид планового ремонта, при котором производятся очистка, частичная разборка оборудования, замена или восстановление футеровки, отдельных деталей, узлов и механизмов, полная или частичная замена смазочных материалов, проверка креплений, замена вышедших из строя крепежных деталей и наладка оборудования.

Текущие ремонты выполняются силами ремонтных бригад предприятия, а в случае производства крупных текущих ремонтов (по графикам, утверждаемым вышестоящей организацией) также с привлечением подрядных специализированных организаций.

Капитальный ремонт – вид планового ремонта, при котором должны быть восстановлены первоначальные качественные характеристики оборудования: производительность, мощность, точность и др. При капитальном ремонте производятся очистка, полная разборка оборудования, промывка узлов, замена или ремонт базовых деталей, замена всех изношенных деталей и узлов, сборка и наладка оборудования

Текущие и капитальные ремонты агрегатным, узловым или крупно-блочным методами осуществляются на месте работы оборудования или на ремонтных площадках (экскаваторы, дробилки, печи, разливочные и агломерационные машины и др.), а машиноосменным методом – в ремонтных цехах или мастерских (насосы, оборудование для подземных горных работ, мешалки и др.).

Капитальные ремонты могут проводиться непрерывно в полном объеме или частями – рассредоточение в течение планируемого года.

Одновременно с капитальным ремонтом при необходимости осуществляется модернизация оборудования по чертежам завода-изготовителя, проектной организации или предприятия, эксплуатирующего оборудование. Под модернизацией понимаются изменения и усовершенствования конструкций оборудования, направленные на повышение производительности, износостойкости и надежности, а также на улучшение условий его обслуживания, ремонта и других эксплуатационных качеств.

Выбор объектов, определение технической направленности и объемов работ по модернизации, разработке технических заданий, конструкторской и другой документации, а также практическое осуществление работ по модернизации оборудования производятся соответствующими техническими службами предприятий с привлечением специализированных ремонтных, проектных и других организаций.

Общее руководство работами по модернизации оборудования осуществляется главным инженером предприятия.

Продолжительность простоев оборудования при осуществлении капитального ремонта с модернизацией устанавливается с учетом объема работ, связанных с модернизацией.

В приложении о ППР приведены нормативы периодичности, продолжительности, трудоемкости одного ремонта и технического осмотра и среднегодовой трудоемкости ремонтов и технических осмотров основного оборудования, разработанные на основе действующих норм и нормативов. Дано обобщение опыта передовых предприятий и организаций отрасли с учетом соблюдения установленных режимов работы оборудования, действующих правил технической эксплуатации, технологических инструкций, надлежащей организации и своевременного, качественного выполнения ремонтов и технических осмотров.

Периодичность технических осмотров определяется в основном сроками службы изнашивающихся деталей, а также необходимостью устранения пропусков в соединениях аппаратов и трубопроводов, подтяжки и регулировки узлов и механизмов, влияющих на безопасность и эффективность работы оборудования.

Периодичность текущих ремонтов устанавливается с учетом регламентированных заводами-изготовителями и проверенных практикой сроков службы изнашивающихся узлов и деталей, а также стойкости огнеупорной кладки и кислотоупорной футеровки оборудования. При этом принимается во внимание, что по истечении указанных сроков дальнейшая работа оборудования без ремонта приводит к прогрессирующему его износу и выходу из строя.

Периодичность капитальных ремонтов определяется сроками службы базовых деталей и узлов, а также необходимостью выполнения работ по модернизации оборудования.

С помощью нормативов периодичности ремонтов устанавливается структура ремонтного цикла, которую можно изобразить графически.

В случае, когда технические осмотры выполняются с остановкой оборудования, например для самосвального автопоезда структура ремонтного цикла имеет вид, представленный на рис. 6.1.

В ремонтном цикле 12 технических осмотров, 3 первых текущих ремонта, 2 вторых текущих ремонта и один капитальный ремонт продолжительностью 160 ч.

Электродуговая печь для переплава металлолома имеет свою структуру ремонтного цикла (рис. 6.2).

В ремонтном цикле 20 технических осмотров, выполняемых в течение 24 ч каждый без остановки печи, 3 текущих ремонта, выполняемых через 4 380 ч работы с остановкой на 240 ч, и один капитальный ремонт, выполняемый через 17 520 ч работы, продолжительностью 720 ч.

В нормативы продолжительности ремонтов не включается простой оборудования в течение смен, выходных и праздничных дней, в которые не производятся технические осмотры и ремонты.



Рис. 6.1. Структура ремонтного цикла для самосвального автопоезда: ТО – технический осмотр, выполняемый через 470 ч работы, продолжительностью 8 ч (с остановкой оборудования); Т1 – первый текущий ремонт, выполняемый через 1 410 ч, продолжительностью 16 ч; Т2 – второй текущий ремонт, выполняемый через 2 820 ч работы, продолжительностью 32 ч; К – капитальный ремонт, выполняемый через 8 460 ч, продолжительностью 160 ч



Рис. 6.2. Структура ремонтного цикла электродуговой печи

Нормативы периодичности и продолжительности являются обязательными для планирования ремонтов оборудования для открытых горных работ, подземных рудников, обогатительных фабрик, алюминиевых, глиноземных и криолитовых заводов, предприятий по производству свинца, цинка, олова, меди, никеля, кобальта, титана, магния, редких металлов и полупроводниковых материалов, ртути, сурьмы, заводов по обработке и вторичной переработке цветных металлов, предприятий по производству

твердых сплавов и тугоплавких металлов, электродных заводов, цехов по производству серной кислоты, медного купороса и суперфосфата, а также оборудования общего назначения.

Нормативная трудоемкость ремонта учитывает время на выполнение полного объема слесарных, сварочных, резательных, гуммировочных и футеровочных работ, включая разборку, ремонт и замену изношенных деталей и узлов, футеровку, ремонт фундаментов, сборку и испытание, а также время на выполнение вспомогательных работ по подноске инструментов, материалов и запасных частей, устройству и разборке лесов, настилов и подмостей, обслуживанию подъемно-транспортных средств и вентиляционных устройств с учетом времени на подготовительно-заключительные операции и регламентированный отдых.

Нормативами трудоемкости не учитываются: ремонт электрооборудования; станочные и другие работы, связанные с изготовлением запасных частей, заменяемых при ремонте; транспортирование оборудования за пределами рабочей зоны; устройство нового фундамента; ремонт магистральных транспортирующих средств или передаточных устройств (трубопроводов, трубопроводов гидросмеси, газоходов и т. д.).

Нормативы трудоемкости ремонтов приведены для условий выполнения работ с применением грузоподъемных устройств и прогрессивных методов проведения ремонтов (узлового, стендового, машино-сменного и др.).

При производстве работ по ремонту оборудования в условиях, снижающих производительность труда (стесненность, повышенная или пониженная температура на рабочем месте, повышенная загазованность и пр.), к приведенным нормативам трудоемкости рекомендуется применять поправочные коэффициенты, указанные в общей части Единых норм и расценок (ЕНиР) на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы.

При выполнении ремонтных работ в условиях, предусмотренных ЕНиР, может быть определен только один из перечисленных коэффициентов, величина которого должна устанавливаться в каждом отдельном случае актом, утвержденным руководителем предприятия (организации) по согласованию с комитетом профсоюза.

В исключительных случаях допускается на основе приведенных в приложении о ППР нормативов периодичности и продолжительности разрабатывать для особых условий эксплуатации оборудования (применение морской воды при обогащении, повышенное содержание фтора в исходном сырье для производства суперфосфата и др.) соответствующие нормативы, которые в дальнейшем представляются на утверждение главному инженеру предприятия, а для оборудования, простой в ремонте которого вызывает снижение выпуска продукции, вышестоящей организации.

Для оборудования, не вошедшего в таблицы нормативов, и условия эксплуатации которого отличаются от указанных в Положении о ППР, раз-

решается разрабатывать и утверждать в установленном порядке местные нормативы периодичности, продолжительности и трудоемкости, показатели которых не должны приводить к снижению выпуска продукции и к увеличению плановой численности промышленно-производственных рабочих предприятия (организации).

В случае невозможности соблюдения указанных условий разрешение на разработку местных нормативов необходимо получать в вышестоящей организации.

По мере проведения организационно-технических мероприятий по улучшению эксплуатации и качества ремонтов оборудования, совершенствованию технологии и организации изготовления узлов и деталей, повышающих их износостойкость, нормативы пересматриваются в установленном порядке.

6.2. Организация и проведение ремонтов

6.2.1. Основы организации ремонтов

Ремонт оборудования выполняется силами ремонтных служб предприятий с привлечением специализированных ремонтных организаций, Управления главного энергетика, других отраслей и ведомств.

Специализированные ремонтные организации выполняют крупные текущий и капитальный ремонты по видам оборудования и по составу работ, утвержденных руководством отрасли.

Для своевременного и качественного проведения планово-предупредительных ремонтов оборудования предприятия обязаны осуществлять следующее:

- организовывать специализированные ремонтные участки, бригады для выполнения технических осмотров и текущих ремонтов, обеспечивая необходимые условия их производительной работы, причем ремонтные бригады должны быть основным звеном в организации ремонтного производства;

- привлекать специализированные организации для выполнения капитальных и крупных текущих ремонтов;

- обеспечивать выполнение действующих правил техники безопасности и противопожарной безопасности всеми рабочими, привлеченными к выполнению ремонтных работ;

- обеспечивать неснижаемый запас быстроизнашивающихся запасных частей и материалов в установленных количестве и номенклатуре;

– организовывать снабжение ремонтных рабочих инструментами, комплектами узлов и деталей, такелажными и подъемными приспособлениями, ремонтными и другими материалами.

Снабжение ремонтных рабочих специализированных ремонтных организаций инструментами, приспособлениями, материалами и т. п. осуществляется в соответствии с договорами на подрядные ремонтные работы, выполняемые специализированными организациями.

Для систематического повышения степени механизации ремонтных работ предприятиям и специализированным ремонтным организациям необходимо обеспечивать ремонтные бригады механизированным инструментом, оснащать ремонтные цехи и участки подъемно-транспортными механизмами и такелажными приспособлениями, разрабатывать и осуществлять типовые схемы механизации часто повторяющихся на предприятии ремонтных работ.

Наиболее прогрессивной формой организации ремонтов оборудования на предприятиях является централизованная, при которой капитальные и крупные текущие ремонты осуществляются преимущественно специализированными ремонтными организациями, а прочие текущие ремонты – специализированными цехами, участками и бригадами, подведомственными главному механику предприятия.

Для осуществления централизации ремонтов оборудования предприятия обязаны:

– организовать ремонтные цехи, участки и бригады, специализированные по ремонту однотипного оборудования, подчинив их главному механику предприятия;

– организовать в ремонтно-механических цехах производство, восстановление и ремонт деталей и узлов оборудования с выдачей их на центральный склад запасных частей;

– организовать обеспечение покупными запасными деталями, узлами и материалами.

Дальнейшая централизация ремонтного хозяйства на предприятиях цветной металлургии должна осуществляться путем расширения и развития существующих ремонтных цехов и специализированных ремонтных организаций отрасли, углубления их специализаций, создания районных баз (цехов и заводов) по централизованному производству запасных частей, узлов и сменного оборудования.

На предприятиях следует применять индустриальные методы ремонта оборудования: агрегатный, узловой, машиносменный, стендовый, крупноблочный, надвижки.

Агрегатный и узловой методы используются в случаях, когда ремонт должен выполняться в минимальные сроки, при этом изношенные агрегаты или узлы заменяются заранее отремонтированными или новыми. Агре-

гатный и узловой методы целесообразно применять при ремонтах горного, обогатительного и металлургического оборудования (экскаваторы, погрузные машины, флотомашинны; агломашинны и др.).

Машиносменный метод применяется для капитальных ремонтов малогабаритного оборудования, при котором подлежащее ремонту оборудование заменяется на заранее отремонтированное (насосы, вентиляторы, воздухоудувки и др.).

Стендовый метод как разновидность агрегатного предусматривает выполнение на специализированных стендах (как стационарных, так и передвижных) ремонта электролизеров, конверторов, рудоразмельных мельниц, замены их футеровки и др.

Крупноблочный метод ремонта, при котором ремонт или изготовление крупных узлов и блоков оборудования выполняется в подготовительный период, применяется для ремонта металлургического оборудования: руднотермических печей, печей кипящего слоя, шахтных печей, контактных аппаратов и др.

Метод надвигки в сочетании с крупноблочными методами ремонта обеспечивает сокращение простоя крупнотоннажного оборудования в ремонте и повышение качества ремонта. Для этих целей на площадке около работающего агрегата собирается из крупных блоков новый агрегат, заменяемый агрегат демонтируется и на освободившийся фундамент путем надвигки (горизонтальной или вертикальной) устанавливается новый.

Указанный метод с высокой эффективностью применяется на ремонтах крупнотоннажного металлургического оборудования.

Для внедрения узлового и машиносменного методов на предприятиях должен быть создан оборотный фонд запасных узлов и машин путем изготовления и приобретения новых, а также восстановления изношенных. Потребность в оборотном фонде для каждого предприятия определяется в зависимости от числа однотипных узлов и машин, а также продолжительности их ремонта по формуле

$$n_{\phi} = \frac{(M_1 + M_2) \cdot N}{M}, \quad (6.1)$$

где M_1 – продолжительность ремонта машины (узла), ч; M_2 – время на снятие, транспортирование и установку узла (машины), ч; N – число однотипного оборудования, подлежащего ремонту за определенный период (месяц, квартал, год); M – число рабочих часов ремонтного цеха за тот же период.

В отдельных случаях, где это технически возможно и экономически целесообразно, капитальные ремонты следует рассредоточить в дни плановых остановок на текущий ремонт, делать это с некоторым целесообразным увеличением продолжительности этих остановок.

Рассредоточение капитального ремонта во времени позволяет существенно сократить специальную остановку оборудования на ремонт, так как при этом одновременно с текущим выполняется капитальный ремонт или замена отдельных узлов и механизмов оборудования.

При подготовке крупных ремонтов для своевременного и качественного их выполнения составляются руководства по ремонту, в которых предусматриваются многоярусное и параллельное ведение работ, монтаж укрупненными узлами и блоками, применение узлового и машиносменного методов ремонта. При этом учитывается, что ремонт оборудования, определяющего производственную мощность цеха (предприятия) и работающего без резерва, производится круглосуточно по непрерывному графику, независимо от исполнителя работ (силами предприятия или подрядной организации).

Руководство по ремонту разрабатывается исполнителем работы и в зависимости от объема и характера ремонта согласовывается с главным инженером предприятия или начальником цеха-заказчика. Календарные сроки проведения ремонтных работ определяются в оперативном или сетевом графике, согласованном со всеми соисполнителями ремонта и утвержденном заказчиком.

При подготовке и проведении ремонта предприятие-заказчик производит следующие работы:

- освобождает приобъектные и ремонтные площадки, монтажные проемы и подготавливает их к приему запчастей, нестандартизированного оборудования, металлоконструкций и материалов;

- в соответствии с руководством по ремонту своевременно обеспечивает подачу воды, воздуха, пара, электроэнергии; производит разводку по рабочей зоне осветительной сети, подключение сварочных аппаратов, электродвигателей, механизмов;

- до начала ремонтных работ осуществляет полное и надежное отключение электроприводов, паро- и водогазопроводов и других коммуникаций ремонтируемого и смежного с ним по технологической цепи оборудования в полном соответствии с действующими правилами;

- осуществляет очистку оборудования от остатков технологических продуктов;

- подготавливает в соответствии с требованиями техники безопасности и промсанитарии площадки, которые будут использоваться во время ремонта;

- проверяет и поддерживает в технически исправном состоянии участвующие в ремонте стационарные грузоподъемные средства.

В течение подготовительного периода исполнитель производит следующие работы:

- получает от заказчика и с его разрешения завозит в приобъектный склад или на ремонтные площадки запасные части, оборудование, металлоконструкции и материалы, необходимые для ремонта;

– завозит и заблаговременно устанавливает в соответствии с руководством по ремонту монтажные механизмы и приспособления, электросварочные аппараты и др.;

– организует в передаваемых ему в аренду помещениях склады для хранения инструмента и приспособлений, запасных частей, материалов;

– в соответствии с оперативным графиком производит расстановку ремонтных бригад, знакомит линейных инженерно-технических работников и бригадиров с предстоящими объемами работ и совместно с заказчиком организует инструктаж по технике безопасности.

До остановки оборудования на ремонт исполнитель ремонта совместно с руководством цеха-заказчика удостоверяются в наличии необходимых запасных частей и материалов, наличии и исправности специального инструмента и такелажных приспособлений.

Взаимоотношения между исполнителем ремонта и заказчиком при подготовке и проведении ремонтных работ регламентируются договорными обязательствами, совместно принятыми в соответствии с договорами на подрядные работы, выполняемыми специализированными организациями.

Ответственность за объемы, сроки и качество ремонтных работ, осуществляемых силами ремонтных цехов или подрядных организаций, несут начальник ремонтного цеха или руководитель организации, выполняющей эти работы.

Ответственность за выполнение ремонта в целом (в полном соответствии с ведомостью дефектов) несут начальник производственного цеха, его заместитель по оборудованию (механик цеха) и начальник ремонта.

Гарантийные обязательства исполнителя ремонта в соответствии с ГОСТ 19504–74 должны быть отражены в паспорте или формуляре отремонтированного оборудования.

Ответственность за правильную организацию системы планово-предупредительного ремонта и эксплуатации оборудования несут главные механики предприятий согласно Типовому положению об отделе (управлении) главного механика предприятий.

6.2.2. Планирование ремонтов

Планирование работ по ремонту оборудования осуществляется в соответствии с нормативами, приведенными в Положении о ППР или разработанными предприятиями.

Все работы, выполняемые по системе ППР, кроме ежесменного обслуживания и ежесуточной проверки оборудования, производятся по утвержденным планам.

Ответственность за выполнение планов ремонта оборудования несут администрации предприятий и их подразделений.

Выполнение плана ремонтов обязательно для руководителей предприятий и цехов так же, как и выполнение плана выпуска основной продукции.

Планы ремонтов оформляются в виде графиков ППР на основное оборудование, перечень которого утверждается руководителем предприятия.

На каждом предприятии должны составляться:

- годовой график ППР основного оборудования предприятия;
- годовой график ППР оборудования цеха, участка;
- месячный график ППР оборудования цеха, участка.

Рекомендуется составлять перспективный график капитальных ремонтов на 5–10 лет (по произвольной форме).

На неработающее оборудование необходимо в графике указывать причины простоя и планировать проведение работ по консервации.

Основанием для составления годового графика ППР являются:

- данные о состоянии оборудования, накопленные в процессе его эксплуатации и технических осмотров;
- нормативы периодичности и продолжительности ремонтов оборудования;
- перспективный график капитальных ремонтов.

Годовой график ППР предприятия увязывается с технологическими и организационными условиями производства, с планами работ по модернизации оборудования, механизации и автоматизации производственных процессов, согласовывается со службой главного энергетика и утверждается главным инженером предприятия.

Утвержденный график должен быть доведен до цехов не позднее, чем за 15 дней до начала планируемого года.

Годовые и месячные графики ремонтов, к выполнению которых привлекаются специализированные подрядные организации, согласовываются с ними.

Для определения периодичности проведения ремонтов в сутках (месяцах, годах) их периодичность необходимо разделить на номинальный фонд времени работы оборудования в сутки (месяц, год).

Месячные графики ППР составляются на основе годового графика. При составлении месячного графика уточняются даты ремонтов и их продолжительность. В месячный график при необходимости включаются также ремонты, не предусмотренные годовым графиком ППР. График подписывается начальником участка, его заместителем по оборудованию (механиком участка) и утверждается главным механиком предприятия.

Утвержденный месячный график ППР является основным документом, регламентирующим проведение ремонтов и осмотров оборудования

на планируемый месяц. Один экземпляр графика до начала планируемого месяца передается участку для исполнения, другой – отделу главного механика для контроля.

Порядок планирования капитальных ремонтов устанавливается следующим.

Заявки на капитальный ремонт оборудования в следующем году участки подают в отдел главного механика предприятия в августе, предприятия – в республиканские органы управления и промышленные объединения в сентябре.

Промышленные объединения составляют сводные графики ремонтов, согласовывают их с управлением главного механика, утверждают и рассылают предприятиям в октябре.

Управление главного механика составляет сводный график на основные виды оборудования, утверждает его у руководства отрасли и др.

Не позднее чем за 1–1,5 мес. до начала планируемого года, составляются титульные списки на капитальные ремонты оборудования, которые утверждаются директором предприятия и рассылаются на участки.

Ведомости дефектов к капитальным ремонтам оборудования составляются участками за 6 мес. до остановки оборудования на ремонт, утверждаются главным механиком предприятия и не менее чем за 3 месяца до начала ремонта передаются исполнителям ремонта.

Ведомости дефектов к текущим ремонтам составляются участками во время выполнения предшествующего ремонту технического осмотра, утверждаются главным механиком предприятия и передаются исполнителям ремонта.

Перед остановкой оборудования на капитальный ремонт и во время ремонта ведомость дефектов корректируется в соответствии с фактическим объемом ремонтных работ. Откорректированная ведомость дефектов согласовывается с главным механиком предприятия.

При подготовке крупных текущих и капитальных ремонтов оборудования на основании ведомости дефектов составляется сетевой или оперативный график выполнения этих работ, в котором отражаются также сроки обеспечения необходимыми материалами, изделиями, запасными частями, узлами и механизмами.

График составляется исполнителем ремонта совместно с участком-заказчиком, согласовывается со всеми соисполнителями ремонта, с главным механиком и утверждается главным инженером предприятия.

Для руководства крупными ремонтами оборудования приказом директора предприятия назначается начальник ремонта.

При привлечении к ремонту специализированной организации приказом по этой организации назначается ответственный руководитель ремонта.

6.2.3. Передача оборудования в ремонт и приемка его после ремонта

Начальники участков обязаны останавливать оборудование на ремонт в соответствии с утвержденным месячным графиком ремонта. Отклонения от утвержденных графиков могут допускаться в случае особой необходимости только по согласованию с главным механиком предприятия и с разрешения директора или главного инженера предприятия, а по оборудованию, остановка которого на ремонт утверждается вышестоящей организацией, только с разрешения этой организации,

Отклонения от утвержденных графиков должны быть оформлены актом не позднее чем за месяц до намеченного ремонта.

Перед остановкой оборудования на ремонт участок-заказчик подготавливает оборудование к ремонту, счищает остатки технологических материалов, осуществляет надежное отключение от сетей и коммуникаций, обеспечивает безопасность ведения ремонтных работ и передает схемы отключения исполнителям ремонта.

Передача в текущий ремонт специализированным организациям оборудования и приемка его после ремонта оформляются актом.

Сведения о выполненных текущих ремонтах должны быть занесены в формуляр оборудования или в агрегатный журнал.

Передача в капитальный ремонт оборудования и приемка его после ремонта оформляются актом.

При проведении капитальных ремонтов оборудования технологических линий и комплексов приемка выполненных работ производится поагрегатно по промежуточным актам.

6.2.4. Оценка качества ремонтных работ

С целью повышения качества ремонтных работ предприятия и специализированные ремонтные организации обязаны предусматривать в разрабатываемых перспективных планах социального, технического и экономического развития мероприятия по повышению качества ремонтов, а также разрабатывать и внедрять у себя комплексную систему управления качеством продукции (в том числе и ремонтной продукции).

Контроль за качеством ремонтных работ в процессе их проведения осуществляют руководители участка, владеющего оборудованием.

Порядок проведения работ по оценке качества выполняемых ремонтов должен регламентироваться стандартом предприятия, разработанным в соответствии с действующими государственными, отраслевыми и республиканскими стандартами применительно к конкретным условиям.

При оценке факторов, определяющих качество ремонта, необходимо учитывать показатели, характеризующие следующее:

- качество ремонтно-технологической документации;
- качество ремонтно-технологического оборудования и оснастки, в том числе испытательного оборудования и средств измерения;
- соответствие технической документации качества материалов, полуфабрикатов, заготовок, комплектующих изделий, применяемых при ремонте;
- качество труда лиц, занятых на ремонтных работах;
- соблюдение правил техники безопасности и охраны труда.

Оценка качества ремонта должна осуществляться в соответствии с ГОСТ 20831–75.

Оценка качества выполненных ремонтных работ фиксируется в акте приемки оборудования после ремонта.

6.3. Технологические процессы ремонта деталей и узлов горной техники

6.3.1. Критерии оценки методов восстановления

При ремонте горной техники используются три группы деталей: новые, отремонтированные и годные без ремонта. Процентное соотношение заменяемых и ремонтируемых деталей для одной и той же машины определяется степенью износа и техническими возможностями ремонтных предприятий.

При решении вопроса о замене или восстановлении деталей должна учитываться экономическая целесообразность восстановления деталей. Целесообразность восстановления деталей диктуется также большими темпами роста парка горных машин и отставанием производства запасных частей к ним. Вместе с тем вопрос об удовлетворении потребности в запасных частях может быть в значительной степени решен за счет широкого использования различных способов восстановления деталей во время ремонта машин.

Ремонт и восстановление изношенных деталей можно проводить одним из следующих способов:

- сваркой;
- вибродуговой наплавкой;
- наплавкой твердых сплавов;
- металлизацией напылением;

- металлизацией электролизом;
- химической обработкой;
- склеиванием;
- механической обработкой;
- электрической обработкой металлов.

Способ ремонта следует выбирать с учетом конструктивно-технологических особенностей деталей, условий их работы, величиной их износа, а также стоимости выполнения ремонта [13–17].

Для оценки выбранного способа восстановления рекомендуется пользоваться технологическим, экономическим и технико-экономическим критериями.

Технологический критерий характеризует возможность применения одного или нескольких технологических способов восстановления, позволяет определить перечень деталей, подлежащих восстановлению одним или несколькими способами. Например, валы диаметром менее 30 мм нельзя восстанавливать под слоем флюса вследствие их возможного коробления из-за перегрева.

Экономический критерий оценивается суммарными затратами на восстановление деталей тем или иным способом:

$$C = C_{\text{п}} + C_{\text{в}} + C_{\text{м}}, \quad (6.2)$$

где C – себестоимость восстановления деталей, руб.; $C_{\text{п}}$ – стоимость подготовки деталей к нанесению покрытий, руб.; $C_{\text{в}}$ – стоимость нанесения покрытий, руб.; $C_{\text{м}}$ – стоимость механической обработки деталей после восстановления под номинальный размер, руб.

Технико-экономический критерий дает окончательное решение при выборе способа восстановления и связывает его себестоимость с коэффициентом долговечности:

$$C \leq k_{\text{д}} \cdot C_{\text{н}}, \quad (6.3)$$

где $C_{\text{н}}$ – стоимость новой детали, руб; $k_{\text{д}}$ – коэффициент долговечности,

$$k_{\text{д}} = \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{н}}}, \quad (6.4)$$

где $T_{\text{р}}$ – срок службы отремонтированной детали; $T_{\text{н}}$ – срок службы новой детали.

6.3.2. Основные способы восстановления

Восстановление сваркой

Сварка является одним из основных технологических процессов при ремонте и монтаже оборудования. Она значительно упрощает и ускоряет многие работы по ремонту, а иногда является основным средством для их выполнения. Цель большинства сварочных ремонтных работ заключается в добавлении металла к изношенным вследствие истирания частям.

В ремонтном деле встречаются три вида сварочных работ: сварка, наплавка (наварка) и заварка.

Сваривать приходится поломанные стальные и чугунные детали, например, станины или рамы машин, кронштейны, ободы, ступицы и спицы зубчатых колес и шкивов и т. д. К этому же виду работ относится и наложение заплат при ремонте крупных машинных частей, резервуаров, бункеров и других металлических конструкций.

Наплавлять (наваривать), т. е. наносить слой металла в тех местах, где обнаружился недопустимый износ, чаще всего приходится в различных деталях из углеродистых и легированных сталей (гнезда корпусов комбайнов и врубных машин, брусья бара, звездочки, утюги, зубья экскаваторов, щеки дробилок и т. д.). Часто наплавляют шейки и шипы валов, изношенные зубья на крупных зубчатых колесах, края шкивов, различные клапаны, кулачки и т. д. Наплавка применяется для деталей из чугуна и сплавов цветных металлов.

При наварке детали, имеющей цементированную или закаленную поверхность, ее предварительно отжигают. Нагревание производится до 900 °С, после чего деталь должна медленно остыть. Отпуск уменьшает твердость стали, сопротивление разрыву и предел упругости, но зато увеличивает вязкость, что позволяет прочно наварить металл. После наварки и механической обработки деталь может быть подвергнута цементации и закалке для возвращения ей прежней твердости.

Заварку применяют в тех случаях, когда в детали требуется полностью или частично заделать отверстие, заварить трещину или другие подобные дефекты, появившиеся в машинных частях и конструкциях в процессе их эксплуатации.

Различают электродуговую, газовую, плазменную и ацетилено-кислородную сварку.

Электродуговая сварка осуществляется за счет возникновения электрической дуги между электродом и деталью (при $t < 1\ 500$ °С).

Плазменная сварка осуществляется за счет очень высоких температур и при переходе металла в новое состояние – плазму (при $t > 3\ 000$ °С).

Ацетилено-кислородная сварка осуществляется за счет тепловой энергии, возникающей при сгорании газов – ацетилена и кислорода.

Применяется ацетилено-кислородная сварка в следующих случаях:

- 1) при ремонте деталей из сплавов цветных металлов, так как ремонт их электродуговой сваркой до сих пор еще мало распространен;
- 2) при ремонте чугунных деталей, требующих последующей обработки режущими инструментами, ввиду того что обычный электросварной шов трудно поддается обработке;
- 3) при сварке деталей толщиной менее 2 мм, потому что электродуговая сварка в таких случаях затруднительна;
- 4) при наплавке или напайке кусковых твердых сплавов на быстроизнашивающиеся детали;
- 5) при резке металлов.

Подготовка к сварочным работам ремонтируемой детали имеет большое значение для самого процесса сварки. Только хорошо подготовленный шов дает надежное сварное соединение. Формирование швов приведена на рис. 6.3.

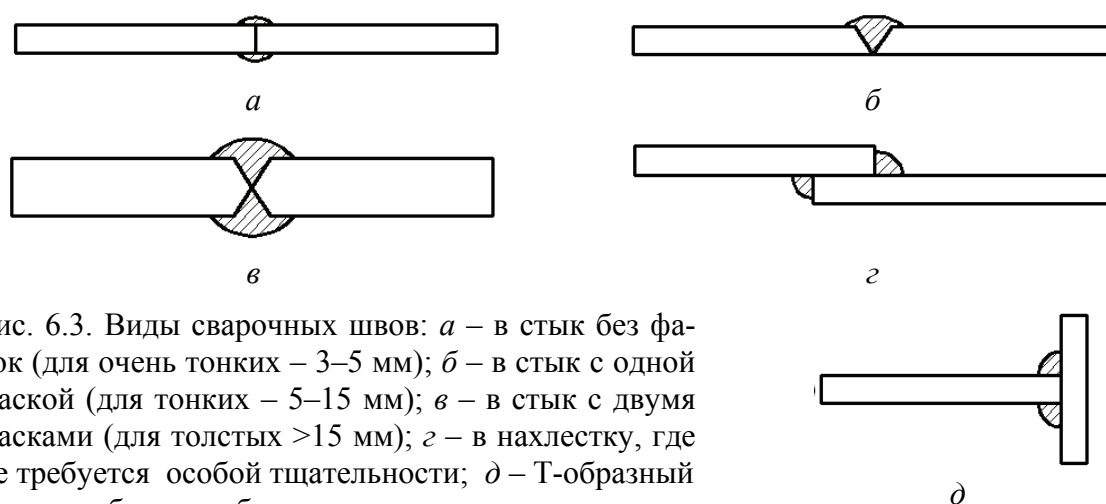


Рис. 6.3. Виды сварочных швов: *a* – в стык без фасок (для очень тонких – 3–5 мм); *б* – в стык с одной фаской (для тонких – 5–15 мм); *в* – в стык с двумя фасками (для толстых >15 мм); *г* – в нахлестку, где не требуется особой тщательности; *д* – Т-образный способ, где требуется усиление конструкции

Скосы рекомендуется делать не конусо-, а лопатообразные для вварки клиньев, схватывающих обе половины.

Перед сваркой необходима очистка поверхности деталей от ржавчины, грязи, острых углов.

При сварке применяют металлические электроды из проволоки или прутков длиной 300–400 мм и диаметром 1,6–12 мм. Металлические электроды бывают с обмазкой и обычные. Диаметр электрода зависит от толщины свариваемого металла (табл. 6.2).

Тип и марку электрода выбирают в зависимости от материала и назначения ремонтируемой детали. Наиболее широко применяют электроды из малоуглеродистой проволоки Св-08 или Св-08А. Существуют также и

специальные электроды для специальных марок сталей, например ЭН-У30Х23Р2С2ТГ. Расшифровывается этот электрод так:

- ЭН – электрод наплавочный;
- У30 – содержание углерода 30 %;
- Х23 – 23 % хрома;
- Р2 – 2 % бора;
- С2 – 2 % кремния;
- Т – 1 % титана;
- Г – 1 % марганца.

Таблица 6.2

Выбор диаметра электрода от толщины свариваемого металла

Толщина свариваемого металла δ , мм	Диаметр электрода d , мм
3–5	1,6–3
5–10	4–5
10–15	6–8
>15	8–12

По применяемым электродам сварку делят следующим образом:

1. Сварка одиночным электродом (однородная, рис. 6.4, а).
2. Многоэлектродная сварка (многодуговая, рис. 6.4, б).
3. Сварка пластинчатым электродом (рис. 6.4, в), когда на восстанавливаемую поверхность укладывается электрод, а дуга, зажженная между деталью и концом электрода, непрерывно горит, оплавливая электрод.
4. Наплавка трубчатым электродом, заполненным порошкообразным наполнителем (рис. 6.4, г), что позволяет получать износостойкие покрытия.
5. Наплавка угольным электродом (рис. 6.4, д): дуга горит между деталью и неплавящимся угольным электродом, в дугу подается третий плавящийся электрод или присадка.

Количество тепла, вводимого дугой в свариваемое или наплавляемое изделие в единицу времени, называется эффективной тепловой мощностью дуги:

$$q = E \cdot I \cdot \eta, \text{ Вт}, \quad (6.5)$$

где E – напряжение, В; I – сварной ток, А; η – эффективный КПД нагрева металла дугой.

Для электродов с тонким покрытием $\eta = 0,5–0,6$, с толстым – $\eta = 0,7–0,85$.

Производительность сварки характеризуется массой расплавленного электродного материала:

$$Q = k \cdot I \cdot t, \text{ г}, \quad (6.6)$$

где k – коэффициент наплавки, $k = 7\text{--}12 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$; t – время горения дуги, ч.
Скорость наплавки определяется по формуле

$$V = \frac{k \cdot I}{F \cdot \rho}, \text{ см/ч}, \quad (6.7)$$

где F – площадь поперечного сечения шва, см^2 ; ρ – плотность материала шва, $\text{г}/\text{см}^3$.

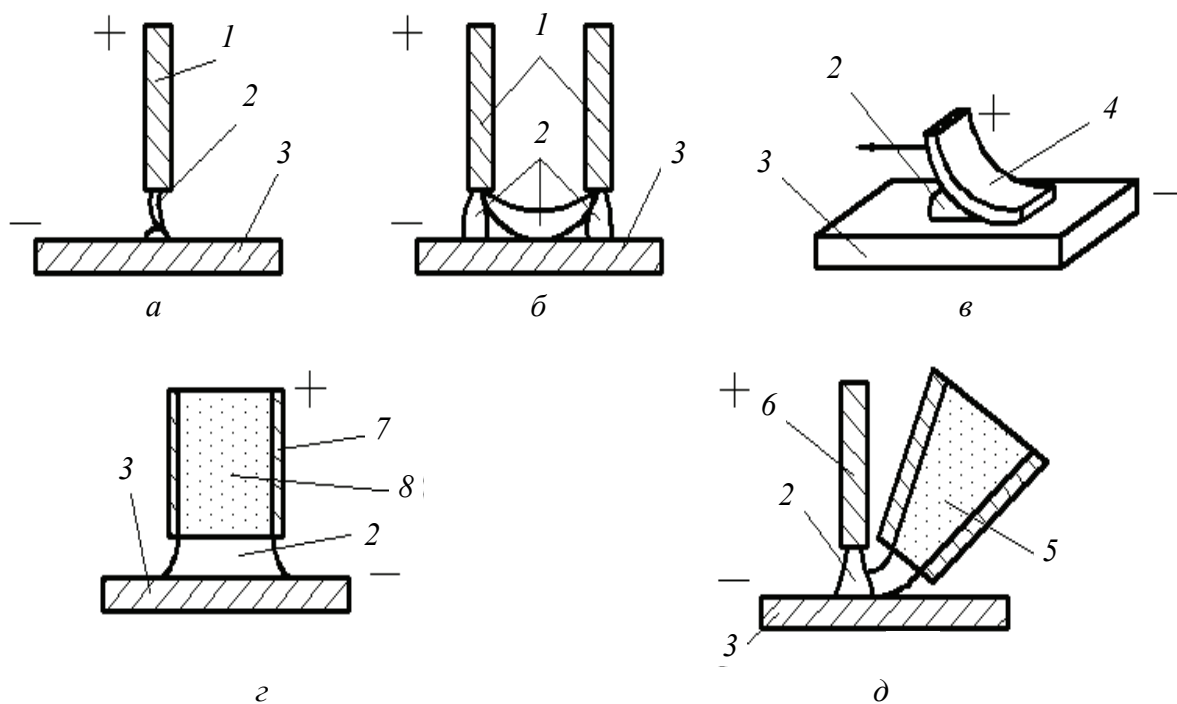


Рис. 6.4. Виды применяемых электродов: 1 – электрод; 2 – дуга; 3 – деталь; 4 – пластинчатый электрод; 5 – присадка; 6 – угольный электрод; 7 – трубчатый электрод; 8 – порошковый наполнитель

Сварку можно производить без предварительного подогрева детали (холодная сварка) или с предварительным подогревом до температуры $650\text{--}850 \text{ }^\circ\text{C}$ в печи, на горне и т. п. (горячая сварка). Лучшие по прочности результаты дает горячая сварка, поэтому ее рекомендуется по возможности применять в ответственных случаях.

Ток подбирают в зависимости от толщины свариваемой детали:

$$I = k \cdot d, \text{ А}, \quad (6.8)$$

где k – коэффициент, для стали $k = 30\text{--}40$ А/мм; d – диаметр электрода, мм.

По роду тока сварку различают на постоянном и переменном токе. При постоянном токе применяют прямую (+ на детали) и обратную полярность (– на детали).

По способу управления сварочным процессом сварку делят на ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

При ручной сварке подача электрода к наплавочному участку осуществляется вручную.

При полуавтоматической сварке подача электрода осуществляется автоматически, а его перемещение вдоль участка сварки – вручную.

При автоматической сварке и подача электрода к наплавочному участку, и его перемещение осуществляются автоматически.

По защите свариваемого или наплавляемого участка сварку делят на сварку на воздухе, под слоем флюса, в вакууме, в среде инертных газов (аргонная), в воде.

Восстановление деталей вибродуговой наплавкой

Вибродуговая наплавка металла в струе охлаждающей жидкости является прогрессивным методом восстановления изношенных металлических поверхностей, позволяющим без коробления деталей получать слой требуемой толщины и твердости [6, 11, 18, 19, 20].

При этом способе физико-механические свойства и химический состав основного металла детали почти не изменяются в процессе наплавки, так как процесс протекает при слабом нагреве на глубину 0,1–2 мм зоны восстанавливаемой поверхности. Наплавленный слой приваривается к основному металлу так же, как и при обычной электросварке. Температура изделия в процессе наплавки находится в пределах 40–80°, что позволяет наплавлять термически обработанные и сложные по конфигурации тонкие и тонкостенные детали. Эти свойства особенно важны при восстановлении деталей горношахтных машин, изготовленных в большинстве своем из углеродистых и легированных сталей с последующей термической обработкой.

Сущность вибродуговой наплавки заключается в том, что к восстанавливаемой детали (рис. 6.5), которая вращается в патроне или в центрах токарного станка, и к электроду в виде вибрирующей проволоки подводится напряжение от источника постоянного тока. При соприкосновении с деталью вибрирующая проволока плавится и покрывает поверхность наплавленным слоем. Протекает процесс весьма сходно с дуговой электросваркой.

Питание установки осуществляется постоянным током обратной полярности (плюс на электроде). Напряжение устанавливается в пределах 14–24 В. Потребляемый ток зависит от диаметра проволоки электрода, скорости ее подачи и колеблется от 120 до 300 А. Наплавка производится в струе охлаждающей жидкости, состоящей из 3–4 %-го водного раствора кальцинированной соды.

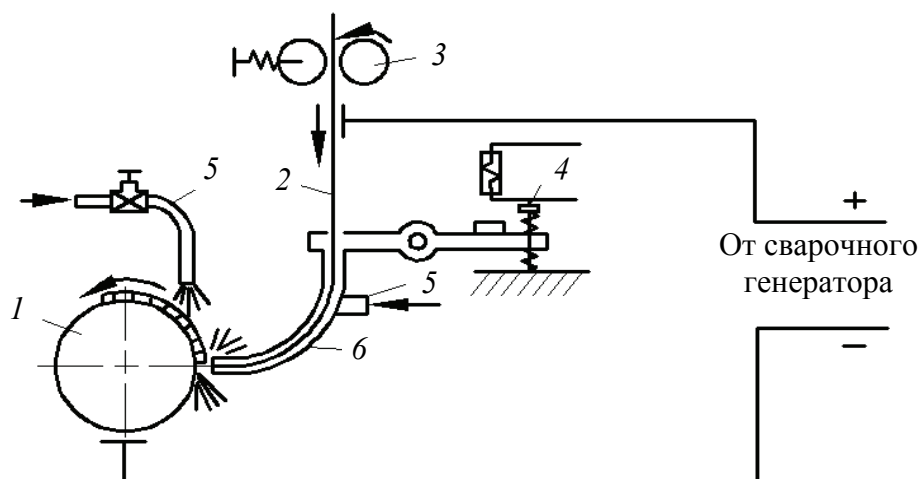


Рис. 6.5. Схема установки для вибродуговой наплавки: 1 – деталь; 2 – электродная проволока; 3 – ролик подачи проволоки; 4 – вибратор; 5 – трубка для подвода охлаждающей жидкости; 6 – вибрирующий хоботок

Вибродуговым способом можно наплавлять внутренние и наружные поверхности стальных деталей, а также шлицевых и шпоночных пазов. В качестве электрода применяется стальная проволока различных марок диаметром от 0,5 до 2 мм. Подбором подачи электродной проволоки к детали и вдоль ее поверхности, а также скорости вращения детали достигается образование сплошного слоя из приварившихся частиц. Минимальный диаметр наплавляемой детали при соответствующем подборе режимов наплавки составляет 8–10 мм.

Перед наплавкой детали очищаются от масла и грязи, а места, не подлежащие наплавке (отверстия, пазы, каналы), защищаются графитовыми или угольными вставками. При многослойной наплавке поверхность каждого слоя очищается стальной щеткой.

Толщина h , мм, наплавленного за один проход слоя, зависит от скорости наплавки, т. е. окружной скорости вращения детали v , м/мин, от диаметра и скорости подачи электродной проволоки и других параметров. Скорость наплавки v может изменяться в пределах от 0,3 до 6 м/мин, а толщина h наплаваемого за один проход слоя металла – от 2 до 0,3 мм.

Зависимость между h и v при диаметре электродной проволоки 1,5–2 мм можно выразить следующей эмпирической формулой:

$$n = \frac{450 \cdot (2 - h)^2 + 110}{D}, \text{ об/мин,} \quad (6.9)$$

где v – скорость наплавки, м/мин.

Скорость вращения шпинделя станка в зависимости от диаметра, D мм, наплавляемой детали равна

$$n = \frac{1\,000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{ об/мин.} \quad (6.10)$$

Решая совместно уравнения (6.9) и (6.10), получаем

$$n = \frac{450 \cdot (2 - h)^2 + 110}{D}, \text{ об/мин.} \quad (6.11)$$

Величина продольной подачи головки при диаметре проволоки 1,5–2 мм устанавливается в пределах от 0,4 до 3 мм на один оборот в зависимости от скорости наплавки.

Производительность насоса для подачи охлаждающей жидкости равна 6–12 л/мин. В зависимости от конфигурации изделия, требуемой толщины наплавки, диаметра проволоки и скорости вращения шпинделя скорость подачи проволоки $v_n = 0,3$ –2 м/мин.

Основной частью установки для вибродуговой наплавки является автоматическая головка, которая монтируется на суппорте токарного или другого станка с продольной подачей, позволяющей устанавливать деталь в патрон или центры для вращения в процессе наплавки. Питается электромагнитный вибратор, и электродвигатель механизма подачи проволоки от источника переменного тока. Вместо электромагнитного вибратора применяются также механические вибраторы с эксцентриковым или кривошипно-шатунным механизмом, создающие около 300 колебаний в минуту.

Достигнутый уровень технологии вибродуговой наплавки позволяет уже теперь рекомендовать ее не только для восстановления изношенных деталей, но и в качестве технологического процесса при изготовлении новых деталей горношахтного оборудования.

Восстановление деталей наплавкой твердыми сплавами

Наплавка твердыми сплавами применяется в горной промышленности для уменьшения износа новых деталей и при восстановлении изно-

шенных. Например, в горных комбайнах и врубовых машинах наплавкой твердым сплавом восстанавливаются изношенные зубья звездочек, брусья баров, рабочие поверхности утюгов, направляющих для утюгов и другие детали. Износостойкость наплавленных деталей обычно увеличивается в 2–3 раза, а иногда в 6–8 раз и даже более по сравнению с деталями из обычной углеродистой стали. Так, износостойкость наплавленных сталинитом чугуновых рифленых щек дробилок повышается в 16 раз.

Покрытие детали твердыми сплавами во многих случаях исключает необходимость применения легированных сталей для изготовления деталей. Техничко-экономическая эффективность применения наплавки твердыми сплавами зависит от соответствующего подбора деталей для покрытия, условий их эксплуатации, а также в значительной степени от подготовки детали под покрытие и режима наплавки.

Процесс наплавки твердым сплавом осуществляется при помощи газосварочной горелки, электросварочной дуги или индукционного нагрева.

Твердые сплавы для износостойких покрытий обычно подразделяются на несколько групп.

1. Зернистые или порошковые сплавы (вокар и сталинит) представляют собой черную или сероватую сыпучую массу с зернами величиной 0,5–2,5 мм, состоящую из механической смеси нескольких металлов – вольфрама, хрома и других с углеродом. Наплавленный слой из этих сплавов является твердым раствором карбидов соответствующих металлов и железа.

Порошкообразный твердый сплав вокар используется для наплавки деталей, которые могут работать без последующей механической обработки и допускают по условиям работы наличие пор, раковин и трещин.

При наплавке сталинитом также возникает некоторое количество пор и раковин, а в отдельных случаях и сетки волосяных трещин. Вследствие малой стоимости, несложности процесса наплавки и высокой стойкости наплавленных деталей сталинит имеет широкое применение: им наплавляют детали, непосредственно соприкасающиеся с полезным ископаемым или породой и не требующие точной обработки шлифованием (зубки врубовых машин, комбайнов и экскаваторов, щеки дробилок, козырьки ковшей, черпаков и т. п.). Твердость наплавленного сталинитом слоя повышается при отжиге при температуре 800–900 °С в закрытой печи.

2. Металлокерамические сплавы изготавливаются прессованием смесей порошков с последующим спеканием и представляют собой карбиды тугоплавких металлов (вольфрама, титана и др.), связанные кобальтом или никелем.

Карбиды входят в состав сплавов в количестве 82–94 %. Так как карбиды имеют высокую твердость (по десятибалльной шкале Мооса 8–10), то и сплавы обладают весьма большой твердостью. В зависимости от назначения изделиям из металлокерамических сплавов придают определен-

ную форму: пластинок для зубков врубовых машин и комбайнов, пластинок для буров, резцов металлорежущих станковой т. п.

Сплавы, в состав которых входит карбид одного какого-либо тугоплавкого металла, называют однокарбидными. Из них применяют вольфрам-кобальтовые сплавы ВК6, ВК8, ВК12 и др. Цифра здесь показывает процентное содержание кобальта в сплаве.

В состав двухкарбидных сплавов входят кроме карбидов вольфрама и карбиды титана. Двухкарбидные сплавы обладают меньшим коэффициентом трения по металлам, поэтому они более пригодны для обработки сталей. Из двухкарбидных титано-вольфрам-кобальтовых сплавов для оснащения резцов и зубков применяют сплавы марок Т5К10, Т15К6 и Т30К4.

3. Литые твердые сплавы изготавливаются плавкой в индукционных высокочастотных печах тигельного типа и представляют собой прутки диаметром от 3 до 8 мм или пластины, полученные отливкой в земляных формах или кокилях. В состав этих сплавов входят кобальт, хром, вольфрам, углерод и в небольшом количестве марганец, кремний и железо. Сплавы имеют различную твердость (в зависимости от количества карбидов), высокое сопротивление изнашиванию, высокую вязкость и хорошую химическую стойкость.

В России выпускают литой сплав на вольфрам-кобальтовой основе ВКЗ. Наряду с этим сплавом выпускают хромо-никелевые сплавы Сормайт № 1 и 2, в которых отсутствует вольфрам и кобальт заменен железом.

Сплавы ВКЗ и Сормайт № 1 успешно применяются для наплавки деталей, работающих в различных условиях. Детали, наплавленные этими сплавами, после механической обработки имеют чистую поверхность, без пор и раковин. Эти сплавы не поддаются отжигу и закалке, поэтому ими можно наплавлять детали, работающие при высокой (до 900 °С) температуре, так как резкого понижения твердости и износостойкости при этом не происходит. Сплав Сормайт № 2 по сравнению со сплавом Сормайт № 1 более вязкий, вследствие чего его применяют для наплавки деталей, работающих с повышенной нагрузкой, толчками и ударами.

Твердый сплав Сормайт № 1 при наплавочных работах может быть успешно заменен белым чугуном. Практика показывает, что износостойкость зубчатых колес, наплавленных белым чугуном бывает не ниже, чем наплавленных Сормайтом №1: сварочные свойства белого чугуна даже выше, чем Сормайта № 1. Белый чугун легко растекается по наплавленной поверхности.

Прутки из белого чугуна могут быть изготовлены двумя способами: обычной отливкой белого чугуна в металлические кокили (диаметр прутка 6–8 мм, длина 350–400 мм); оттяжкой куска белого чугуна в прутки при помощи ацетилено-кислородной сварочной горелки.

Наплавка твердых сплавов осуществляется электродуговым, газовым или комбинированным способами.

Восстановление деталей металлизацией напылением

Металлизация напылением осуществляется газовым или электрическим аппаратом – металлизатором, при помощи которого металл расплавляется и в виде мельчайших частиц подается струей сжатого воздуха на специально подготовленную поверхность изделия.

Этим способом можно наносить сравнительно прочный слой почти любого металла на изделия из черных и цветных металлов, а также на дерево, пластмассы и другие материалы. Покрытие наносится толщиной от 0,3 до 10 мм (иногда и большей) в зависимости от назначения.

Преимущество металлизации напылением состоит в возможности наносить покрытие, не вызывая перегрева изделия, что выгодно отличает металлизацию напылением от сварки (наварки).

Металлизация напылением применяется в следующих случаях:

- 1) при восстановлении изношенных деталей машин, преимущественно цилиндрической формы (например, шипов и шеек различных валов, шпинделей, штоков, втулок, подшипников скольжения и т. д.);
- 2) при исправлении литейных дефектов (например, заделка раковин и трещин, устранение пористости и течи);
- 3) при восполнении недостающего веса для балансировки;
- 4) при защите от коррозии;
- 5) при повышении жаростойкости стали методом металлизации алюминием (алитирование);
- 6) при улучшении теплопроводности и электропроводности;
- 7) при защитно-декоративных покрытиях.

Применение покрытий металлизацией особенно эффективно для деталей крупных размеров. В этом случае стоимость металлизации составляет от 2 до 10 % стоимости детали.

Металлизированный слой имеет неоднородную структуру и состоит из нагромождения отдельных частиц неправильной формы, размер которых колеблется от 1 до 2 мк в зависимости от условий распыления.

Структура слоя резко отличается от структуры основного металла: она пористая, имеет значительное количество окислов и шлаковых включений, характеризуется слабой прочностью сцепления напыленного слоя с основным металлом и частиц между собой. Однако при совместной работе с основанием металлизированный слой хорошо противостоит всем видам статических нагрузок. Отслаивание и разрушение слоя происходят лишь тогда, когда деформация основного металла выходит за предел упругости, но такие нагрузки вообще не допускаются в деталях машин. Напыленные покрытия хорошо работают на сжатие.

Твердость металлизированного слоя обычно выше твердости исходного металла. Прирост твердости колеблется в широких пределах и у стальных покрытий составляет около 30–40 %.

Износостойкость напыленных покрытий при сухом трении в два-три раза меньше, чем обычных металлов. При работе в условиях смазки металлизированные покрытия имеют более низкий коэффициент трения и большую износостойкость, чем обычные металлы. Этому способствует значительная пористость напыленного слоя, обладающего способностью впитывать масло в количестве около 9 % своего объема.

Для нанесения распыленного металла на изделия обычно применяются специальные проволочные металлизационные установки (рис. 6.6) – газовые или электрические.

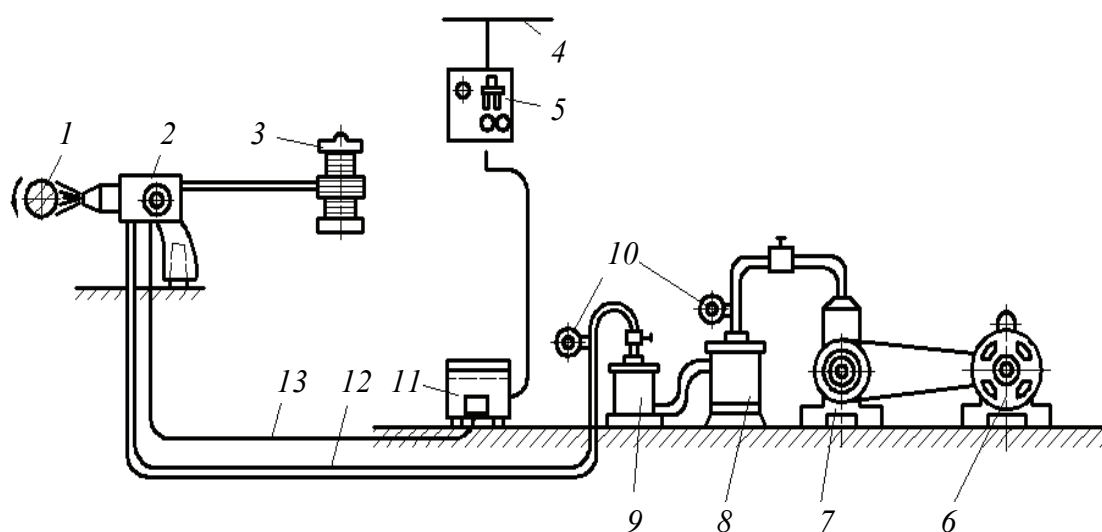


Рис. 6.6. Схема проволочной металлизационной установки: 1 – деталь; 2 – электрометаллизатор; 3 – катушка с проволокой; 4 – электросеть; 5 – щиток; 6 – электродвигатель; 7 – компрессор; 8 – воздухосборник; 9 – маслоотделитель; 10 – манометры; 11 – трансформатор; 12 – шланг для сжатого воздуха; 13 – провода

Поверхность детали должна быть тщательно подготовлена к покрытию: 1) очищена от масла, пленки окислов и других загрязнений; 2) механически обработана для получения требуемой геометрической формы детали и необходимой толщины наращиваемого слоя (не менее 0,5 мм на сторону после окончательной обработки); 3) обработана для получения наибольшей шероховатости; 4) защищена так, чтобы соседние участки детали, не подлежащие металлизации, должны быть закрыты накладками из жести, картона или бумаги.

Необходимая шероховатость поверхности достигается механической, пескоструйной или электрической обработкой. Механическая обработка для цилиндрических деталей заключается в нарезании рваной резьбы с шагом от 0,8 до 1,2 мм. Шероховатость, созданная нарезанием рваной

резьбы, дает наиболее высокую прочность сцепления. Пескоструйная обработка применяется для плоских деталей.

Толщина покрытия наружных поверхностей тел вращения может быть любой без ухудшения прочности сцепления. Предельной толщиной покрытий внутренних стенок цилиндров и втулок считаются 2,5 – 3,0 мм. При большей толщине повышается опасность возможного отслаивания под действием внутренних напряжений, возникающих в покрытии.

Электролитическое восстановление

Электролитическое наращивание металлов основано на законах электролиза, т. е. прохождения постоянного тока через электролиты. Этот процесс связан с передвижением электрически заряженных частиц – ионов. Ток поступает в электролит через проводники, называемые электродами. Под действием электрического тока, проходящего через электролит, ионы движутся в определенном направлении: положительно заряженные ионы, называемые катионами (металлы, водород), движутся к катоду, а отрицательно заряженные ионы – анионы (например, кислотный остаток SO_4 , водный остаток OH) движутся к аноду (рис. 6.7).

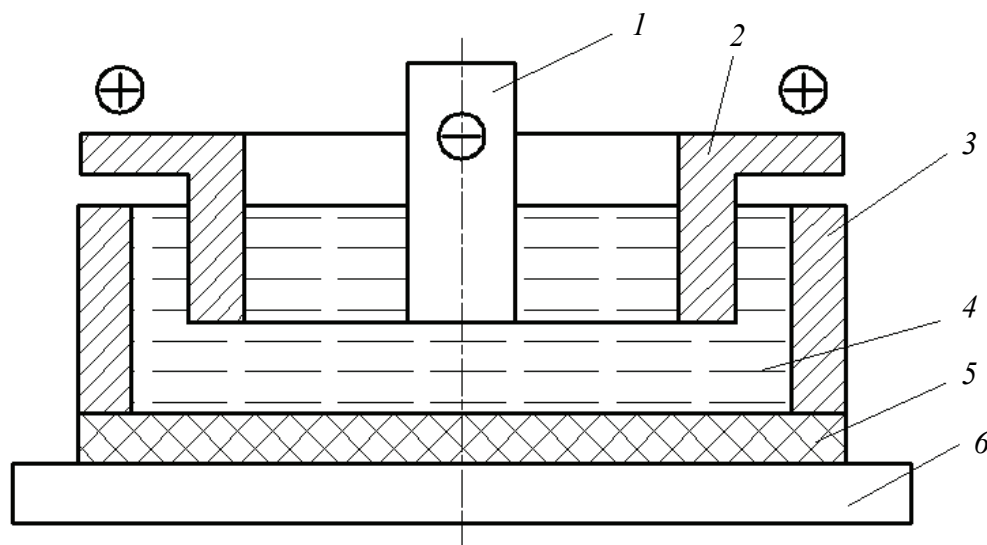


Рис. 6.7. Схема электролитического восстановления: 1 – восстанавливаемая деталь (катод); 2 – анод; 3 – ванна; 4 – электролит; 5 – листовой целлулоид; 6 – основание ванны

В процессе электролиза на катоде происходит разряд ионов металла, т. е. ионы теряют свой электрический заряд и осаждаются в виде нейтральных атомов. Электролитом служит раствор солей металла, который наращивается на изношенную деталь. Катодом является деталь, а анодом в большинстве

случаев служат пластины из металла, подлежащего осаждению. Металл анода растворяется, а его атомы образуют новые ионы металла, переходящие в раствор взамен выделенных на катоде. Вместо растворимых анодов (медь, железо, никель и др.) применяются и нерастворимые (свинец, уголь), например при хромировании. В этом случае раствор соли по мере протекания процесса непрерывно обедняется и его необходимо периодически обогащать.

Электролиз металла подчиняется следующим законам Фарадея:

1) количество металла, осажденного на катоде при электролизе, прямо пропорционально количеству электричества (величине тока, умноженной на время), протекающего через данный электролит;

2) количество вещества, осажденного при прохождении тока через электролит, прямо пропорционально его эквивалентному весу.

Электрохимическим эквивалентом называется количество металла в граммах, которое осаждается в течение 1 ч при протекании тока в 1 А.

Оба закона Фарадея могут быть выражены формулой

$$G = c \cdot I \cdot T, \text{ кг}, \quad (6.12)$$

где G – теоретический вес осажденного металла, кг; c – электрохимический эквивалент, кг/(А·ч); I – величина тока, А; T – продолжительность электролиза, ч.

Так как обычно электролитические растворы содержат не чистые растворы металлов, а с примесью токопроводящих солей и кислот, то действительный вес осадка будет меньше теоретического. Отношение фактического веса осадка к теоретическому, выражаемое в процентах, называется выходом по току (КПД ванны). Выход по току при хромировании составляет 12–18 %, а при других электролитических процессах 60–90 %.

Осадки хорошего качества получают только при определенном соотношении двух основных факторов – температуры раствора и катодной плотности тока, свойственных данному электролитическому процессу и избранному рецепту электролита. В настоящее время применяются следующие электролитические способы покрытия поверхностей: хромирование, осталивание (железнение), омеднение, никелирование, кадмирование, оцинкование, лужение, алюминирование, освинцевание. Большинство из упомянутых способов применяется для антикоррозионных и декоративных покрытий. Для восстановления и повышения износостойкости деталей используются главным образом хромирование и осталивание.

Химическое восстановление деталей

Химический способ применяют для повышения износостойкости деталей и защиты их от коррозии. Основными преимуществами этого способа перед электролитическим являются: 1) проведение процесса при отсут-

ствии тока, что не требует специального оборудования; 2) возможность получения высокой твердости покрытий (до HRC 60) и их высокая сопротивляемость абразивному изнашиванию; 3) возможность покрывать различные металлы, в том числе алюминиевые сплавы, пластмассы, керамику; 4) возможность нанесения равномерного износостойкого слоя на изделия сложной формы, например, зубья червячных и других колес. Стойкость зубьев в результате химического никелирования повышается в 3–4 раза.

Раствор для химического никелирования содержит:

- хлористый никель – 25 г/л;
- гипосульфит натрия – 30 г/л;
- уксусно-кислый натрий – 20 г/л;
- глицин – 10 г/л.

Температура раствора составляет 90–92 °С, скорость осаждения – 0,02 мм/ч. Подготовка поверхности такая же, как и при электролитических процессах. После химического никелирования требуется закалка при температуре 400–450 °С. Износостойкость незакаленных никелевых покрытий невысокая. Рассмотренный метод можно применять для восстановления ответственных деталей, которые необходимо заменять даже при небольшом износе, например, детали гидроредукторов и аппаратуры.

6.4. Обеспечение запасными частями

6.4.1. Общие сведения

Обеспечение предприятий запасными частями к машинам и оборудованию возложено на отделы (управления) материально-технического снабжения предприятия, в составе которых непосредственная работа по снабжению запасными частями осуществляется бюро (сектором, группой) запасных частей.

Разработка и реализация планов материально-технического снабжения запасными частями к отечественным машинам и оборудованию осуществляются в соответствии с Руководством по составлению заявок на запасные части к отечественному оборудованию и машинам, получаемым через территориальные органы материально-технического снабжения.

Обеспечение предприятий запасными частями к импортному оборудованию организуется по составлению заявок на запасные части к импортным машинам и оборудованию, эксплуатируемым на предприятиях.

Изготовление в ремонтно-механических цехах предприятий новых запасных частей и восстановление бывших в работе обеспечивают отделы (управления) главного механика [21].

Основными задачами ремонтно-механического цеха предприятия являются:

- обеспечение своевременного и качественного ремонта и модернизации оборудования подразделений предприятия;
- изготовление запасных частей, литья, поковок, металлоконструкций, нестандартизированного оборудования и другой продукции, необходимой для ремонтно-эксплуатационных нужд предприятия;
- полное и эффективное использование производственных мощностей участков и отделений на основе научной организации труда, внедрения новой техники, прогрессивной технологии и специализации производства;
- рациональное и экономное использование топливно-энергетических, материальных и трудовых ресурсов, выделяемых на ремонтно-эксплуатационные нужды.

Прием, учет, хранение и выдача запасных частей осуществляются в соответствии с Инструкцией по приемке, длительному хранению и выдаче материальных ценностей на складах предприятий отрасли.

Изготовленные ремонтно-механическим цехом запасные части сдаются по накладной на склад запасных частей предприятия.

На складе запасные части регистрируются в приходном ордере и раскладываются по стеллажам и ячейкам. На каждую ячейку, где хранятся одинаковые детали, приклеивается материальный ярлык.

На основании приходного ордера, один экземпляр которого передается в бухгалтерию предприятия, поступившие на склад детали заносятся в карточку складского учета.

Детали со склада выдаются по требованиям с визой отдела главного механика предприятия. Полученные по требованиям запасные части каждые 10 дней разносятся по карточкам складского учета, а требования передаются в бухгалтерию предприятия.

6.4.2. Расчет потребности в запасных частях

Основными исходными данными для расчётов являются значения средних ресурсов деталей, которые с помощью коэффициентов использования приводятся к единому для всех деталей календарному времени работы до их первой замены. Затем вычисляется число таких замен за межремонтный цикл и за каждый год эксплуатации машины, что даёт возможность определить ожидаемую потребность в запасных частях в зависимости от срока службы каждой машины, находящейся в смешанном по возрасту машинном парке эксплуатируемой техники. Учёт изменения численности парка по возрастным группам позволяет рассчитать предполагаемые ежегодные объёмы производства запасных частей по всей номенклатуре.

Такова общая методология расчёта объёма производства и норм расхода запасных частей.

Число ремонтных циклов машин до её списания находят по формуле

$$Q' = \frac{8760 \cdot T_a \cdot K_{и}}{T_{\text{рсп/к}}} \leq Q, \quad (6.13)$$

где T_a – средний срок службы машины до её списания, г; $K_{и}$ – коэффициент использования машины в течение года; Q – число ремонтных циклов, округлённое до ближайшего большего целого числа; $T_{\text{рсп/к}}$ – средний ресурс до первого капитального ремонта.

Число замен j -й детали рассчитывают по формуле, учитывающей весь срок службы машины:

$$F_j = \frac{T_{\text{рсп/к}} \cdot K_j \cdot K_i \cdot Q'}{T_{\text{рсп } i}} - 1 \leq F_j, \quad (6.14)$$

где K_j , K_i – коэффициенты использования j -й детали и i -го узла с j -й деталью; $T_{\text{рсп } j}$ – средний ресурс j -й детали, ч; F_j – число замен j -й детали, округлённое до ближайшего большего целого числа.

Среднее число замен j -й детали в каждом ремонтном цикле определяют по неокругленным данным:

$$Y_j = \frac{F_j + 1}{Q}. \quad (6.15)$$

Тогда номера замен f_i в каждом ремонтном цикле с номером $k = 1, 2 \dots Q$ будут распределены:

$$\begin{aligned} \text{для } k = 1 & \quad 0 < f_j \leq Y_j; \\ \text{для } k = 2 & \quad 1 < f_j \leq Y_j. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Условный порядковый номер замены j -й детали в каждом ремонтном цикле вычисляют по выражению

$$B_k = f_j - (k - 1)Y_j, \quad (6.17)$$

где $(k - 1) < f_j \leq k Y_j$.

Коэффициент сокращения каждого последующего ремонтного цикла принимают в интервале $0,8 \leq c \leq 0,95$.

Для вычисления периодов замены деталей необходимо определить срок службы каждой детали до её первой замены:

$$t_j^{(1)} = \frac{T_{\text{рсп}}}{8\,760 \cdot K_{\text{и}} \cdot K_j \cdot K_i}, \quad (6.18)$$

Тогда срок замены j -й детали в каждом ремонтном цикле находят с учётом $B_{\text{к}}$ и c :

$$t_{\text{ц}j} = t_j^{(1)} \cdot B_{\text{к}} \cdot c^{k-1}. \quad (6.19)$$

Если вычислять периодичность с начала эксплуатации, нужно знать продолжительность работы машины к моменту возобновления её работы после очередного капитального ремонта.

Суммарное сокращение предыдущих ремонтных циклов учитывают через коэффициент:

$$S_{\text{к}} = \frac{1 - c^{k-1}}{1 - c}, \quad (6.20)$$

Если $Y_j \geq 1$, то суммарный срок службы

$$t_{\Sigma j} = t_j^{(1)} \cdot Y_j \cdot S_{\text{к}}. \quad (6.21)$$

Тогда поток замены деталей j -го наименования будет определён периодичностями:

$$t_j^{(f)} = t_{\Sigma j} + t_{\text{ц}j}. \quad (6.22)$$

Если $Y_j < 1$, то срок службы j -й детали до её первой замены будет превышать продолжительность первого ремонтного цикла машины и поток замен определится следующим образом:

$$t_j^{(fj)} = t_j^{(1)} \cdot f_j \cdot c^{fj-1}. \quad (6.23)$$

Пример

Определить периодичность замены j -й детали по следующим исходным данным: $K_i = 0,3$; $K_j = 1,0$; $T_{\text{рсп}j} = 300$ ч; $K_{\text{и}} = 0,15$; $T_{\text{а}} = 6$ лет; $T_{\text{рсп}1\text{к}} = 4\,000$ ч; $C = 0,9$.

Решение

Значение Q вычисляем по формуле (6.13):

$$Q = \frac{8\,760}{4\,000} \cdot 6 \cdot 0,15 = 1,97.$$

Принимаем $Q = 2$.

Число замен вычисляем по формуле (6.14):

$$F_j = \frac{4\,000 \cdot 0,3 \cdot 1,0 \cdot 1,97}{300} - 1 = 6,86.$$

Принимаем $F = 7$.

Значение $t_j^{(1)}$ определяем по формуле (6.18):

$$t_j^{(1)} = \frac{300}{8\,760 \cdot 0,15 \cdot 0,3 \cdot 1,0} = 0,76,$$

$$t_j^{(1)} = 0,76 \text{ года.}$$

Значение Y_j вычисляем по формуле (6.15):

$$Y_j = \frac{6,86 + 1}{1,97} = 4,$$

$$Y_j = 4.$$

Так как $Y_j = 4 > 1$, то для определения потока замен необходимо воспользоваться формулами (6.19), (6.21), (6.22) со следующими номерами замен в каждом ремонтном цикле:

при $k = 1$ $0 < f_j \leq 4$ $f_j = 1, 2, 3, 4$;

при $k = 2$ $4 < f_j \leq 7$ $f_j = 5, 6, 7$.

Результаты расчета потока замен сведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Результаты расчета потока замен

K	f_j	B_k	S_k	A_k	$t_{\Sigma j}$	$t_{ц,j}$	$t_j^{(f)}$
1	1	1	0	0	0	0,76	0,76
	2	2	0	0	0	1,52	1,52
	3	3	0	0	0	2,28	2,28
	4	4	0	0	0	3,04	3,04
2	5	1	1	4	3,04	0,683	3,723
	6	2	1	4	3,04	1,366	4,406
	7	3	1	4	3,04	2,049	5,089

Таким образом, за 6 лет эксплуатации машин до ее списания j -я деталь будет заменяться 7 раз, причем первая замена будет через 0,76 года, а последняя – через 5,089 лет.

Для определения потребности в запасных частях j -й детали необходимо дополнительно учитывать степень разброса значений замен деталей. Величину $\sigma_j^{(f_j)}$ – среднеквадратичное отклонение продолжительности работы машины до каждой замены j -й детали определяют по формуле

$$\sigma_j^{(f_j)} = \sigma_j^{(1)} \cdot \sqrt{f_j}, \quad (6.24)$$

где $\sigma_j^{(1)}$ – получают из статической информации продолжительности работы детали до первой замены. При её отсутствии для расчётов принимается $\sigma_j^{(1)} = 0,25$ года.

Для более точного определения потребности в запасных частях необходимо знать закон распределения замен. Наиболее распространен нормальный закон распределения замен, а следовательно, и поставки запасных частей. Для этого закона потребность рассчитывают путём интегрирования кривой распределения срока очередной замены j -й детали в пределах m года эксплуатации:

$$\Delta \Phi_{m,j}^{(f_j)} = \frac{1}{\sigma_j^{(f_j)} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{m-1}^m e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}} \right)^2} dt. \quad (6.25)$$

Величина $\frac{t-t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}} = Z$ представляет квантиль нормированной величины t – срока службы детали до очередной замены. Её вычисляют по таблице интегралов вероятностей $\Phi(z)$ для всех лет эксплуатации $m = 1, 2, \dots, a$.

Тогда долевая потребность

$$\Delta \Phi_{m,j}^{(f_j)} = \Phi \left(\frac{m - t_i^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}} \right) - \Phi \left(\frac{m - 1 - t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}} \right). \quad (6.26)$$

Ежегодная потребность для одной машины в j -й детали по всем номерам замен в пределах m года эксплуатации

$$\Delta \Phi_{m,j}^{(f_j)} = \sum_{f_j-1}^{F_j} \Delta \Phi_{m,j}^{(f_j)}. \quad (6.27)$$

Потребность в долях массы машины или её стоимости определяют по формуле

$$q_{m,j} = \omega_j \cdot n_{3,j} \cdot \Delta \Phi_{m,j}^{(f_j)}, \quad (6.28)$$

где ω_j – масса (цена) детали, кг (руб.); $n_{3,j}$ – число одновременно заменяемых деталей j -го наименования.

Общая потребность по массе (стоимости) в запасных частях в m год эксплуатации по всем наименованиям деталей

$$q_m = \sum_{j=1}^f q_{m,j}. \quad (6.29)$$

Общая потребность в запасных частях растёт с каждым последующим годом эксплуатации машины до последнего года – $m = a$. Этот рост подчиняется экспоненциальному закону распределения.

Объёмы производства запасных частей M_μ по сравнению с объёмом выпускаемой продукции должны определяться соотношением

$$\alpha_\mu = \frac{M_\mu}{\omega \cdot N_\mu} < \alpha_{\text{пред}} \quad (6.30)$$

где $\alpha_{\text{пред}}$ – предельное соотношение для всей номенклатуры запасных частей,

$$0,05 \leq \alpha_{\text{пред}} \leq 0,35; \quad (6.31)$$

ω – масса (цена) одной машины; N_μ – объём производства (выпуск) машин данной модели в μ году.

Объём производства запасных частей для каждого года выпуска вычисляют по формуле

$$M_\mu = \sum N_\mu \cdot q_m; \quad (6.32)$$

при $m = a$ $\mu = b$; при $m = 1$ $\mu = 1$,

где a – последний год эксплуатации машин; b – последний год выпуска машин данной модели.

Объём производства запасных частей в первый год их выпуска $\mu = 1$ для первого года эксплуатации $m = 1$:

$$M_1 = N_1 \cdot q_1. \quad (6.33)$$

В последующем должна учитываться потребность в запасных частях машин предыдущих годов выпуска, смешанных по возрастам. При $\mu < a$

$$\begin{aligned} \mu = 2, & \quad M_2 = N_2 q_1 + N_1 q_2; \\ \mu = 3, & \quad M_3 = N_3 q_1 + N_2 q_2 + N_1 q_3; \\ \mu = 4, & \quad M_4 = N_4 q_1 + N_3 q_2 + N_2 q_3 + N_1 q_4. \end{aligned}$$

Объёмы производства запасных частей при $\mu \geq a$, когда первый выпуск достиг предельного состояния и машина списывается из эксплуатации, должны обеспечивать в запасных частях оставшийся в эксплуатации парк машин:

$$\begin{aligned} \mu = a, & \quad M_\mu = N_\mu q_1 + N_{\mu-1} q_2 + \dots + N_1 q_a; \\ \mu = a + 1, & \quad M_\mu = N_\mu q_1 + N_{\mu-1} q_2 + \dots + N_2 q_a; \\ \mu = a + 2, & \quad M_\mu = N_\mu q_1 + N_{\mu-1} q_2 + \dots + N_3 q_a. \end{aligned}$$

В тех случаях, когда продолжительность производства машин превышает продолжительность их эксплуатации, т. е. имеет место условие $b - a = \varepsilon$, при $\mu = b = a + \varepsilon$

$$M_b = N_b q_1 + \dots + N_{\varepsilon+2} q_{a-1} + N_{\varepsilon+1} \cdot q_a.$$

После завершения производства машины запасные части должны выпускаться только для парка оставшихся в эксплуатации машин:

$$\begin{aligned} \mu = b + 1, & \quad M_{b+1} = N_b q_2 + N_{b-1} q_3 + \dots + N_{\varepsilon+3} \cdot q_{a-1} + N_{\varepsilon+2} \cdot q_a; \\ \mu = b + 2, & \quad M_{b+2} = N_b q_3 + N_{b-1} q_4 + \dots + N_{\varepsilon+3} q_a; \\ \dots & \quad \dots \\ \mu = b + \ell, & \quad M_{b+\ell} = N_b q_{\ell+1} + N_{b-1} q_{\ell+2} + \dots + N_{\varepsilon+1+\ell} q_a. \end{aligned}$$

Общее число лет производства запасных частей равно $(a + b - 1)$.

Если продолжительность производства машин меньше их срока эксплуатации, $a - b = \varepsilon$, то:

$$\begin{aligned} \mu = 1, & \quad M_1 = N_1 q_1; \\ \dots & \quad \dots \\ \mu = b, & \quad M_b = N_b q_1 + N_{b-1} q_2 + \dots + N_1 q_{a-\ell}; \\ \mu = b + \varepsilon = a, & \quad M_a = N_b q_{\varepsilon+1} + N_{b-1} q_{\varepsilon+2} + \dots + N_2 q_{a-1} + N_1 q_a. \end{aligned}$$

Численность парка машин в каждом году эксплуатации определяется по планам производства новой техники с помощью матрицы:

$$\| \Pi_m \| = \begin{vmatrix} N_1 & 0 & 0 & 0 \\ N_2 & N_1 & 0 & 0 \\ N_3 & N_2 & N_1 & 0 \\ \cdot & N_3 & N_2 & N_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ N_b & \cdot & N_3 & N_2 \\ 0 & N_b & \cdot & N_3 \\ 0 & 0 & N_b & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & N_b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \Pi_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Pi_{b+a-1} \end{vmatrix}. \quad (6.34)$$

Проверяется выполнение условия α : $\alpha_\mu = \frac{M_\mu}{\omega \cdot N_\mu} < 2_{\text{пред}}$.

Если данные расчётов не подтверждаются на практике, то может возникнуть дефицит запасных частей:

$$\Delta M_\mu = (\alpha_\mu - \alpha_{\text{пред}}) \cdot \omega \cdot N_\mu, \quad (6.35)$$

который следует ликвидировать за счет совершенствования конструкции машины или технологии её производства.

6.5. Повышение износостойкости деталей

Необходимость повышения износостойкости деталей вытекает из того, что процессы их изнашивания происходят в поверхностных слоях и напряжения в них возрастают, как правило, от сердцевины к поверхности. Кроме того, на поверхностях деталей концентрируются напряжения, вызванные резкими переходами, микротрещинами и неровностями, возникающими после механической и термической обработки.

Сопrotивляемость деталей изнашиванию снижается также под воздействием воздуха, масла, воды, температуры.

Повысить износостойкость деталей можно термической обработкой (нагревом током высокой частоты, ацетилено-кислородным пламенем и плазмой), химико-термической обработкой (азотированием, цементацией, борированием), механической обработкой (поверхностно-пластической деформацией, дробеструйной обдувкой), электролитическим покрытием

(хромированием, никелированием и др.), электрофизической наплавкой (газопламенной, плазменной, электроискровым легированием, металлизационным напылением и др.). Выбор способа упрочнения деталей определяется условиями её эксплуатации, видом материала, из которых они изготовлены, а также их конструктивными особенностями.

6.5.1. Основные сведения о методах упрочнения деталей [22–24]

Условия работы деталей машин во многих случаях характеризуются высокими механическими и тепловыми нагрузками, наличием в сопряженном пространстве химически агрессивных или абразивных сред, что обуславливает необходимость разработки конструкционных материалов типа высоколегированных сталей и сплавов, а кроме этого – разработку прогрессивных методов поверхностного упрочнения с нанесением покрытий, имеющих определенно заданные свойства. Однако одной модификацией видового состава конструкционного материала, например, его объемным легированием, невозможно в полной мере решить задачи современного машиностроения, хотя это и приводит к улучшению эксплуатационных характеристик сталей и сплавов. Дело в том, что такой путь развития машиностроения ориентирован на использование значительных количеств крайне дефицитных материалов, таких как хром, никель, молибден ванадий вольфрам. Известно и то, что в ряде случаев целевая задача повышения существующего ресурса конкретного изделия в машиностроении зачастую не предусматривает качественной модификации структурного состава используемого материала во всем его объеме, а переносится на видоизменение поверхностного материала, поскольку защита сопрягаемых деталей от механического износа или от коррозионного воздействия на контактирующие поверхности деталей в ряде случаев ограничивается поверхностным упрочнением.

Согласно современным представлениям о природе технического ресурса повышение уровня износостойкости деталей машин и механизмов связано не столько с увеличением твердости контактирующих поверхностей, сколько с возможностью управления достаточно сложной физико-химической зависимостью как функцией интенсивности механического износа от видового характера механического нагружения и распределения локальных зон знакопеременных критических напряжений, вызывающих весьма сложную картину распределения деформаций и качественный переход процессов абразивного истирания контактирующего материала, а его хрупкое выкрашивание. Тем не менее в общем случае под упрочнением материала понимается повышение его твердости и других прочностных характеристик.

В промышленном производстве применяют разнообразные методы упрочнения, причем с различной целенаправленностью и широтой технологического освоения. Те из них, которые разработаны сравнительно недавно, зачастую составляют предмет «ноу-хау», недостаточно широко публикуются в научно-технической литературе и поэтому применяются не так широко, как традиционные. К таким новым методам относят: ударно-барабанное упрочнение, глубокое местное пластическое деформирование, магнитно-ультразвуковую наплавку, вакуумно-химическое осаждение из газовой фазы, электродуговую металлизацию при пониженном давлении среды инертных газов, плазменное наплавление в среде высокого давления и др. Высокая эффективность этих методов обуславливает перспективность их применения в различных отраслях промышленности. Перспективные направления развития технологий поверхностно-упрочняющей термической обработки предполагают освоение и развитие новых методов создания износостойких покрытий использованием в основном тугоплавких износостойких материалов, т. е. покрытий на основе металлоподобных и неметаллических соединений типа карбидов, нитридов и т. п. Для таких материалов характерны высокие показатели твердости и теплостойкости.

Поверхностное упрочнение инструмента имеет свою особую специфику, которая прослеживает динамику развития физико-химического взаимодействия инструментальных материалов с различающимися факторами агрегатного состояния вещества, что отражается в наименовании таких технологий: диффузное насыщение, ионно-плазменное, плазменное и детонационное напыление, осаждение из газовой фазы, наплавка, электроискровое легирование. Развитие этих технологий радикальным образом изменяет форму и содержание производственного оборудования поверхностного упрочнения, например, качественное выполнение ионно-плазменного напыления подразумевает наличие для этого разумно спроектированных, тщательно изготовленных и корректно эксплуатируемых вакуумных камер средней и высокой степени разряжения. Такое же по качеству производственное оборудование требуется и для выполнения поверхностного упрочнения инструмента или оснастки в высокочастотной индукционной плазме при атмосферном давлении.

Образование упрочняющих покрытий из разнородных конструкционных материалов приводит не только к модификации материала поверхностного слоя, повышающей эксплуатационные характеристики обработанного изделия, но и к образованию в ряде случаев принципиально нового, композиционного материала поверхностного слоя, обладающего как высокой прочностью и достаточной пластичностью, так и повышенной износостойкостью. Такие покрытия отвечают практически всей совокупности требований эксплуатационного и технологического характера в части твердости, износостойкости, теплостойкости, плотности, прочности сцеп-

ления поверхностного слоя с материалом основы, коррозионной стойкости. Известно несколько вариантов таких композиционных покрытий, различающихся химическим составом компонентов, числом и толщиной промежуточных слоев, типом переходной к основе зоны, технологией и механизмом формообразования слоев упрочнения.

При всем многообразии существующих методов поверхностного упрочнения достаточно сложно обосновать и таким образом остановить свой выбор на наиболее приемлемом методе нанесения упрочняющего покрытия, поскольку это сопряжено с тщательной проработкой всего технологического цикла изготовления целевого изделия. Такой выбор определяется не только техническими условиями на эксплуатацию изделия, но и рядом прочих, немаловажных факторов технологического исполнения: собственно химический состав обрабатываемого материала, его технологическая совместимость с особенностями процесса поверхностного упрочнения, способность аккумулирования прагматических достоинств обработанного конструкционного материала и материала покрытия и т. д.

Зачастую на выбор того или иного метода поверхностного упрочнения влияет его очередность в составе всей технологической цепочки производства изделия, т. е. влиянием предыдущей смежной технологической операции на результативность нанесения упрочняющего покрытия или, наоборот, влиянием особенностей технологии выполнения упрочняющего покрытия на результативность предыдущих. Так, при изготовлении режущего инструмента нанесение упрочняющего покрытия является конечной операцией, поэтому несоответствие температурного режима поверхностного осаждения упрочняющего покрытия техническим условиям температурного режима предыдущей ответственной технологической операции перечеркивает достоинства всего технологического цикла, сводит на нет и достоинства поверхностного упрочнения. Поэтому необходимо, чтобы выбор требуемого метода поверхностного упрочнения не допускал термического разупрочнения основного материала.

Для инструмента, прошедшего отпуск при температуре 180–200 °С (штампы для листовой штамповки), пригодны локальная закалка, электроискровое легирование (ЭИЛ), упрочнение в высокочастотной плазме при нормальном атмосферном давлении.

Методы химического осаждения из газовой фазы применимы только для нанесения покрытий на твердые сплавы, так как температура нагрева покрываемой поверхности составляет 750–1 050 °С.

Химико-термическую обработку (ХТО) применяют как при высоких (от 900 °С и более), так и при относительно низких (450–600 °С) температурах. После высокотемпературной ХТО (цементация, хромирование, хромтитанирование и т. д.) для получения требуемых свойств основы необходима термическая обработка (с температурой насыщения или допол-

нительного нагрева под закалку). Низкотемпературная ХТО применима для сталей, подвергаемых закалке с высоким отпуском (например, для стали марки 5 ХНМ).

Ионно-плазменное нанесение покрытий в вакууме применительно для инструмента или оснастки, работающих при температурах 350–500 °С. Материалом таких изделий могут быть твердые сплавы, инструментальные быстрорежущие или высокохромистые стали либо комплексно-легированные стали.

Каждый из приведенных методов имеет свои преимущества и недостатки, но они исследуются и разрабатываются для использования в более широких объемах производства.

Для упрочнения металлических и неметаллических материалов используют также энергетическое воздействие взрывом, а именно упрочнение взрывом. Это осуществляется при нанесении покрытия из порошковых материалов, при получении энергией взрыва деталей из порошково-композиционных материалов (особых по составу синтезированных материалов); энергетическое воздействие подразумевает лазерное и радиационные упрочнение, упрочнение при воздействии импульсного электромагнитного поля, электронно-лучевой закалкой, электрогидравлическим деформированием. Особый интерес представляют методы упрочнения в процессе производства металлических, керамических и полимерных покрытий, в особенности плазменное напыление. В справочнике даны рекомендации применимости того или иного метода упрочнения в соответствии с целесообразностью получаемого покрытия.

Все приведенные методы поверхностного упрочнения являются эффективным технологическим средством повышения эксплуатационных свойств обрабатываемых деталей. Например, химико-термическое осаждение значительно упрочняет обрабатываемую поверхность, имеющую сложную геометрическую конфигурацию, без критических изменений ее размерных параметров или макроструктуры, увеличивая при этом коррозионную стойкость детали.

В связи с тем, что к ряду деталей машин ответственного назначения предъявляют повышенные требования – иметь прочную и вязкую сердцевину, а поверхность – твердую и одновременно жаропрочную (или коррозионно-стойкую), представляется целесообразным изготовление таких деталей из разнородных конструкционных материалов. Таковыми являются композиционные материалы.

С одной стороны, использование многослойных материалов композиций позволяет не только повысить эксплуатационную ценность изделия из таких материалов, но и существенно сократить расходы на конструкционный материал, отказавшись от перерасхода дорогостоящих материалов (никеля, хрома, меди, молибдена и др.). С другой стороны, использование

композиционного материала с текстурно-ориентированными свойствами способствует появлению оригинальных конструктивных решений в создании современных изделий машиностроения.

Упрочнение как составная часть обработки поверхностей имеет большой опыт развития, но только в последнее время появилась возможность реализации ряда смелых технологических решений, невозможных без информационной проработки в ее компьютерном режиме. Поэтому приходится учитывать то обстоятельство, что масса научно-технических публикаций относительно технологии и теории упрочнения поверхности либо носит монографический характер, либо имеет узкоцелевое фрагментарное назначение.

6.5.2. Методы упрочнения деталей

Газотермическое напыление – это способ получения покрытий из нагретых и распыленных частиц, получаемых в результате газотермического диспергирования исходного напыляемого материала покрытия с применением высокотемпературной распыляющей газовой струи, при соударении которых с основой или подслоем ранее напыленного материала происходит их соединение посредством сварки, адгезии или механического сцепления. При использовании компактного состояния исходного напыляемого материала в виде порошка, проволоки, прутика, шнура или прокачиваемого расплава газотермическое диспергирование производится непосредственно в процессе напыления.

Газотермическое напыление представляет собой совокупность самостоятельных проводимых технологических методов, функциональная задача которых заключается в образовании требуемого технологического покрытия как средства упрочнения обрабатываемой поверхности конструкционного материала, т. е. производство упрочняющего покрытия, которое позволяет повышать сопротивляемость основы защищаемого конструкционного материала разрушению определенного вида. Упрочнение в таком случае носит целенаправленный характер, при котором становится целесообразным использование достижений высоких технологий. Прагматика газотермического упрочнения определяет функциональную номинацию таких покрытий.

Газотермические покрытия

Упрочняющее назначение газотермических покрытий имеет многоцелевой характер. В этом смысле особенностью таких покрытий является не только их видовое многообразие, но и результат совокупного взаимо-

действия трех основных природных (феноменологических) факторов газотермического напыления:

1. Вещества напыляемого материала;
2. Энергетического способа газотермического диспергирования напыляемого материала;
3. Восприимчивости основы к сцеплению с диспергированными частицами напыляемого материала при определенном состоянии их агрегатно-фазовых превращений.

В зависимости от характера сочетаний этих трех факторов и прагматики функционального назначения все газотермические покрытия имеют следующую видовую (эксплуатационную) классификацию:

- антиадгезионное – износостойкое газотермическое покрытие, снижающее склонность контактирующих поверхностей к адгезионному взаимодействию или схватыванию;
- антифрикционное – износостойкое газотермическое покрытие, понижающее коэффициент трения в рабочей паре трения:
 - жаростойкое – коррозионно-стойкое газотермическое покрытие, повышающее сопротивление поверхности разрушению при высоких температурах;
 - защитное – газотермическое покрытие, защищающее поверхность от внешних воздействий;
 - износостойкое – газотермическое покрытие, повышающее сопротивление поверхности различным видам изнашивания;
 - корковое – газотермическое покрытие, сформированное на основе в целях копирования ее формы или снимаемое с основы для использования в самостоятельных целях;
 - коррозионно-стойкое – защитное газотермическое покрытие, повышающее сопротивление основы коррозионному разрушению;
 - теплозащитное – терморегулирующее газотермическое покрытие, снижающее воздействие тепловых потоков на защищаемую поверхность;
 - терморегулирующее – газотермическое покрытие, обеспечивающее регулирование поглощения или излучения поверхностью тепловых потоков;
 - термостойкое – газотермическое покрытие, обладающее необходимой работоспособностью в условиях многократных изменений температуры;
 - уплотнительное – газотермическое покрытие, обеспечивающее необходимую стабильность зазоров в сопряженных элементах конструкции изделия;
 - фрикционное – износостойкое газотермическое покрытие, повышающее коэффициент трения;
 - эрозионно-стойкое – газотермическое покрытие, уменьшающее результативность воздействия высокоскоростных (турбулентных) потоков на защищаемую поверхность.

Вакуумные методы нанесения покрытий

Одним из основных направлений решения проблемы повышения эксплуатационных характеристик материалов и изделий является усовершенствование уже имеющихся и создание высокоэффективных вакуумных методов нанесения качественных покрытий самого различного назначения (износостойких, коррозионно-стойких, жаропрочных и др.). Основные требования, предъявляемые к покрытию и методу его нанесения, это высокая прочность сцепления с основной, высокая плотность и заданный состав, возможность осаждения покрытий равномерной толщины, экономичность и технологичность процесса.

Достоинствами вакуумных методов нанесения покрытий являются возможность кристаллизации вещества в широком диапазоне регулируемых скоростей осаждения, отсутствие ограничений в смешивании различных материалов в паровой среде, возможность вводить в металлическую матрицу высокодисперсные частицы упрочняющей фазы с очень равномерным распределением по объему матрицы, чего нельзя достичь с помощью порошковой металлургии. При наличии ионизованного потока металлического пара и напуске реактивного газа в вакуумную камеру можно получать в зависимости от парциального давления газа дисперсно-упрочненные или стехиометрического состава покрытия из таких тугоплавких соединений, как нитриды, окислы, карбиды и т. д. в результате протекания плазмохимических реакций.

В настоящее время в зависимости от конкретно решаемых технологических задач применяются различные вакуумные методы нанесения покрытий термическим испарением, ионным напылением, активированным реакционным испарением, ионным осаждением, электронно-лучевым плазменным напылением, конденсацией с ионной бомбардировкой, ионно-лучевым модифицированием, а также осаждением покрытий из газовой фазы в ванне.

Скорость осаждения покрытия $V_{\text{и}}$ определяется следующими формулами:

для точечного источника распыления (испарения) $S_p \ll 1$ по формуле

$$V_{\text{и}} = \frac{v_p \cdot S_p \cdot \cos \alpha}{4 \cdot \pi \cdot L^2}; \quad (6.36)$$

для плоского источника по формуле

$$V_{\text{и}} = \frac{v_p \cdot S_p \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta}{\pi \cdot L^2}, \quad (6.37)$$

где v_p – скорость распыления (испарения); S_p – площадь распыления; L – дистанция напыления; α – угол между направлением потока частиц и нор-

мали плоскости напыления; θ – угол между направлением потока частиц и нормали поверхности распыления (испарения).

Из приведенных зависимостей следует, что общими параметрами процесса вакуумного нанесения покрытий являются скорость и площадь распыления, а также направление потока относительно поверхности напыления и дистанция.

При упрочнении новых деталей широко применяются системы ионного нанесения покрытий. Системы ионного нанесения покрытий (рис.6.8), в которых генерация наносимого материала в газообразном состоянии осуществляется в результате термического перевода твердого вещества в парообразное, получили название ионно-термических (среди них распространение нашли электронно-лучевые системы и системы нанесения покрытий из плазмы с горячим катодом). Другие системы, в которых генерация потока частиц наносимого вещества производится ионным нанесением (распылением), получили название холодных систем (или систем нанесения покрытий из плазмы с холодным катодом). Такое деление напылительных систем в достаточной степени условно, так как существуют системы, где генерация наносимого вещества осуществляется одновременно по двум рассмотренным механизмам (например, магнетронное распыление из жидкой фазы).

В Англии разработана разновидность метода физического осаждения из газовой фазы на режущий инструмент (покрытие из TiN). Перед загрузкой в рабочую камеру поверхность инструмента очищается паром и ультразвуком, затем в камере создается вакуум, 10 мВ и в нее вводится Ag, на инструмент подается отрицательное напряжение 5 кВ и между ним и стенкой камеры возбуждается разряд, при воздействии которого положительно заряженные ионы Ag бомбардируют поверхность инструмента, очищая ее. Затем инструмент нагревается до 300–350 °С в течение 30–75 мин и после на него осаждается покрытие.

Для Ti-мишени, размещенные внизу камеры испаряются электронным лучом, и пары Ti смешиваются с N₂, поступающим в камеру под отрицательным потенциалом, адсорбируются на поверхности инструмента и вступают в реакцию с газом и агентом с образованием нитрида титана.

Процесс длится 1 ч, полученное покрытие имеет толщину 2 мкм, стойкость инструмента с покрытием в 3–4 раза выше.

В Японии уже более 50 % зубчатых колес для автомобилей нарезаются червячными фрезами и зуборезными долбяками покрытием, нанесенным методом PVD. К методу PVD относится метод реактивного ионного напыления покрытия, в котором твердые покрытия осаждаются при температуре ниже температуры отпуска быстрорежущей стали, поэтому твердость основного материала не снижается и термические деформации минимальны.

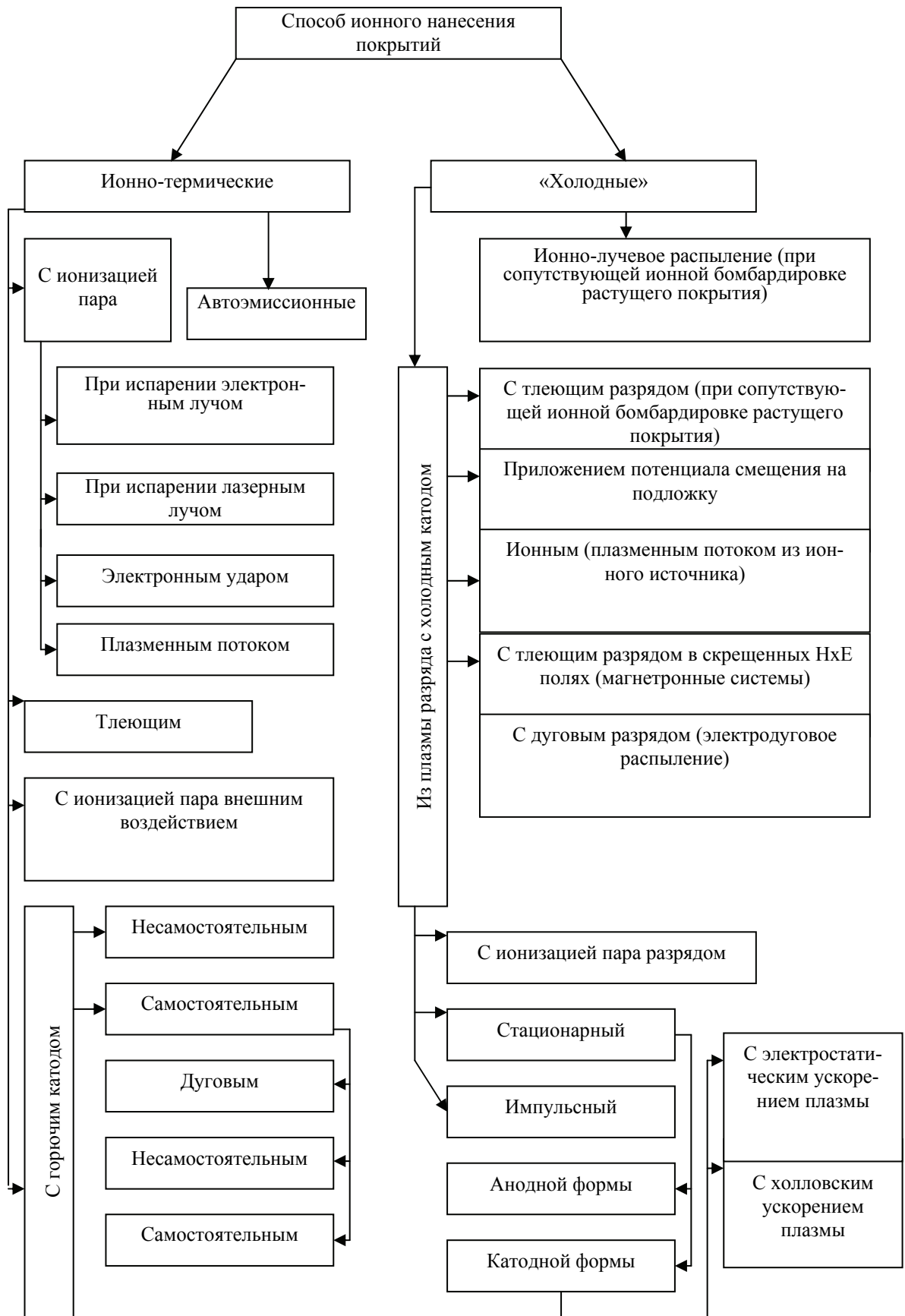


Рис. 6.8. Системы ионного нанесения покрытий

Упрочнение методом наплавки

Рациональное и экономное использование дорогостоящих и дефицитных легированных сталей для наплавки представляет особо важную народнохозяйственную задачу. Одним из путей решения этой задачи является изготовление деталей машин и инструмента из сравнительно дешевых марок малоуглеродистых и низколегированных сталей с рабочими поверхностями, наплавленными высокопрочными и износостойкими легированными сплавами. Наплавка заключается на поверхности изделия. Наплавка особенно широко и эффективно применяется, например, в дорожном, строительном, горном, сельскохозяйственном машиностроении на упрочнение деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Наплавка применяется не только при изготовлении новых изделий, но и в ремонтном деле при восстановлении изношенных деталей. В инструментальном производстве наплавке подвергаются штампы и режущий инструмент.

Процесс наплавки на поверхность деталей легированных сплавов осуществляется электрической дугой, пламенем газовой горелки и другими методами.

Наплавочные свойства электродов определяются следующими технологическими факторами: ионизирующей способностью электродов, коэффициентами расплавления и наплавки электродов, отделяемостью шлака, коэффициентом потерь, геометрическими параметрами наплавления.

Производительность процесса дуговой наплавки одним электродом характеризуется коэффициентом наплавки:

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I \cdot t}, \quad (6.38)$$

где α_p – коэффициент наплавки; G_p – масса расплавленного электродного металла; I – сила тока, А; t – время плавления электрода, ч.

Коэффициент наплавки α_n определяет удельную производительность процессов наплавки:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I \cdot t}, \quad (6.39)$$

где G_n – масса наплавленного металла, выражается в кг/ч.

Важным технологическим фактором процесса наплавки является также глубина проплавления. Последняя зависит от разных факторов: технологических условий ведения процесса, видов наплавки, свойств основного металла, плотности тока, полярности дуги и др. Глубина проплавления

ния уменьшается при обработанной полярности дуги в случае наплавки, свойств основного металла, плотности тока, полярности дуги и др. Глубина проплавления уменьшается при обратной полярности дуги в случае наплавки на постоянном токе при увеличении диаметра электрода. Повышение напряжения приводит к увеличению ширины проплавленного слоя и незначительно влияет на глубину.

Свойства наплавленного металла, в основном, определяются химическим составом электродного стержня, покрытия направленного слоя и структурой последнего. Высокие твердость и износостойкость получают при легировании наплавленного металла марганцем, бором, вольфрамом, молибденом, хромом и другими элементами (при определенном их соотношении). В процессе наплавки часть легирующих элементов теряется вследствие окисления, испарения и разбрызгивания. Интенсивность окисления зависит от химического сродства окисляемого элемента к кислороду.

Процессы плавления металла и формирования шва можно регулировать, например, скоростью движения электрода, подогревом металла и введением железного порошка.

Кристаллическое строение наплавленного металла зависит от условий кристаллизации, а также от его состава. Получить мелкозернистое строение наплавленного металла можно за счет введения модификаторов, например, алюминия, титана или ванадия, а также вибрацией электродов в процессе наплавки. На качество наплавленного металла влияют атмосферные газы N_2 , O_2 , H_2 , которые растворяются в сварочной ванне в процессе наплавки.

Процесс наплавки представляет собой миниатюрный металлургический процесс, отличающийся высокой скоростью расплавления и застывания наплавленного металла и интенсивным протеканием химических реакций в расплаве и прилегающих зонах металла. В процессе наплавки происходит расплавление некоторой части основного металла изделия и перемешивание наплавленным металлом. Это приводит к изменению химического состава, физических и механических свойств наплавленного металла и к ухудшению его эксплуатационных качеств. Поэтому следует стремиться к минимальному расплавлению основного металла изделия при условии рационального строения зоны плавления. При наплавке основной металл подвергается значительному тепловому воздействию, что вызывает существенные термические напряжения и может вызвать структурные изменения.

Наплавка может осуществляться электрической дугой с применением металлического или угольного электродов, газокислородным пламенем, в среде инертных газов и т. д. Все более широко используются специальные способы наплавки – электрошлаковая, плазменная, токами высокой частоты и др.

Электродуговая наплавка может осуществляться вручную и механизированно аппаратами для автоматической и полуавтоматической наплавки. Механизированная наплавка по способу защиты дуги и сварочной ванны имеет несколько разновидностей: наплавка порошковой проволокой под флюсом или применением газовой или газофлюсовой защиты; по количеству электродов, по характеру их плавления (плавящиеся и неплавящиеся электроды); по типу электродов (электроды из порошковой проволоки, ленточные электроды).

При наплавке постоянным током дуга горит более устойчиво и качество формирования валиков наплавляемой поверхности используется значительно лучше.

Выбор способа наплавки зависит от условий работы наплавляемой детали, ее конфигурации, объема наплавляемых деталей, производительности процесса. Механизированные виды наплавки применяются для плоских деталей и тел вращения, например таких, как катки гусениц тракторов.

Ручная наплавка используется для наплавки деталей сложной формы, например, лопастей гидротурбин, штампового инструмента и др.

Упрочнение композиционными и биметаллическими материалами

Композиционными материалами (КМ) называется такой материал, в котором совместная работа его составляющих, прочно соединенных между собой и обладающих резко различающимися (контрастными) механическими, физическими и химическими свойствами, дает эффект, равносильный получению нового уникального материала, свойства которого и количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих.

Есть КМ волокнистые, слоистые, слоисто-волокнистые, порошковые.

Получение композиционных материалов может быть осуществлено путем армирования, т.е. введения в матрицу высокопрочных и высокомодульных составляющих с целью, например, существенного повышения порога рабочих температур, а также путем плакирования, позволяющего создавать в материале оптимальную многослойность, как правило, с целью обеспечения существенного повышения конструкционной надежности материала и изделия.

В настоящее время из всего многообразия композиционных материалов наибольшее распространение получили композиции волокнистого и слоистого строения, различающиеся между собой видом упрочняющих фаз и матриц, а также слоисто-волокнистые и порошковые КМ.

Волокнистый композиционный материал состоит, как правило, из связующего материала (матрицы) и упрочняющих элементов (нитевидных кристаллов, высокопрочных проволок или листов и т. п.).

Первая группа материалов «матричного» типа представляет собой в основном волокнистые композиции, состоящие из различных, упрочняющих частиц или армирующих элементов, соединенных связующим веществом. К таким материалам относятся композиции, состоящие из матрицы, упрочненной дисперсными частицами или хаотически расположенными нитевидными кристаллами; материалы, получаемые методами порошковой металлургии и состоящие, например, из частиц карбидов тугоплавких металлов, помещенных в связующее, образуемое металлами железной группы, материалы армированные высокопрочными отрезками, а также непрерывными волокнами или проволокой; материалы, имеющие армирующие элементы в виде сеток (проволочных тканей и сот); материалы, имеющие непрерывные неориентированные армирующие волокна.

Слоистыми композициями называют системы, состоящие из набора чередующихся двумерных армирующих компонентов в виде листовых, пластинчатых и фольговых материалов, жестко связанных между собой по всей поверхности.

По виду армирующих элементов и механике упрочнения композиционные материалы бывают с трехмерными армирующими элементами (частицами); порошковыми композиционными веществами (ПКМ); двумерными армирующими элементами (листы, полосы); слоистыми композиционными веществами (СКВ); одномерными армирующими элементами (волокна, проволока), волокнистыми композиционными веществами.

Применяют следующие способы производства композиционных материалов: литое плакирование, диффузионную сварку, электрошлаковую сварку, сварку взрывом и др. способы сварки, наплавку, электроосаждение, термомеханическое плакирование, припаривание, стекление, заливку, пропитку жидким металлом, а также используют детонационное нанесение покрытий, вакуумные нанесения, газотермические, намотку, осадку-раздачу (для многослойных труб), прессование, экструдирование, эвтектическую кристаллизацию и др.

У волокнистых композиционных материалов несущим элементом является армирующее волокно, проволока, фольга (фаза-прочитель). Армирующие элементы благодаря волокнистой структуре имеют высокую прочность, весьма высокий модуль упругости и, как правило, сравнительно низкую плотность.

В волокнистых композициях матрица скрепляет волокна или другие упрочняющие элементы в единый монолит, защищая их от повреждения. Матрица является важной средой, передающей нагрузку на волокна, а в случае разрушения отдельных волокон перераспределяет напряжения. Кроме того, ее механические свойства определяют характер проведения материала при сдвиге, сжатии и усталостном разрушении.

Особенность волокнистой композиционной структуры заключается в равномерном распределении с повторяющейся геометрией высокопрочных

и высокомодульных волокон в пластической матрице, содержание которых может колебаться от 15 до 75 % по объему.

В волокнистых и слоистых композициях механизм торможения трещин, имеющий место в традиционных сплавах, дополняется торможением трещин самими волокнами на поверхности сцепления матрицы с армирующими упрочнителями.

Поверхности раздела в волокнистых и слоистых композиционных материалах можно рассматривать как самостоятельный элемент структуры, точнее следует говорить не о геометрической поверхности раздела, а о прилежащей к поверхности раздела области, в которой протекают процессы растворения, образования и роста новых фаз, перераспределение примесей и т. д.

Возможность регулирования структуры и управления качеством переходного слоя, схемой армирования позволяет создавать новые материалы с различным спектром требуемых свойств.

В переходном слое формируется связь между упрочняющими волокнами и матрицей, через которую передаются напряжения. От совершенства указанной связи зависят условия торможения трещин. Другими словами, переходный слой определяет уровень свойств волокнистых и слоистых композиционных материалов.

В волокнистых и слоистых композиционных материалах, компоненты которых выбирают с учетом оптимального взаимодействия, структура формируется искусственно при изготовлении материалов в процессе намотки, укладки волокон или деформации.

Упрочнение металлических материалов методом поверхностного пластического деформирования

Надежность и ресурс деталей машин в основном определяется качественным состоянием их поверхностного слоя, являющимся носителем конструктивных, технологических и эксплуатационных концентраторов напряжений, величина и характер которых представляют усталостное разрушение конструкции в эксплуатации.

Наиболее существенными с точки зрения эксплуатации свойствами поверхностного слоя деталей являются шероховатость, твердость и уровень остаточных напряжений.

Требуемые параметры качества поверхности и практически все важнейшие эксплуатационные свойства деталей машин могут быть обеспечены процессами упрочнения их методом поверхностного пластического деформирования (ППД), максимально проявляющими потенциальные возможности материала. Упрочнение методом ППД приводит к повышению поверхностной твердости, образованию в поверхностных слоях деталей остаточных напряжений сжатия и благоприятному изменению микрогео-

метрии поверхностей. В результате в зависимости от функционального назначения и условий эксплуатации деталей повышается их усталостная и контактная прочность, износостойкость и сопротивление коррозии, гидроплотность и маслоудерживающая способность.

Эффективность способов упрочнения методом ППД в сочетании с высокой производительностью и экономичностью делает их перспективными во всех отраслях промышленности – от приборостроения до тяжелого машиностроения.

Номенклатура деталей в машиностроении, подлежащих упрочнению методом ППД, весьма значительна, причем подавляющее большинство деталей приходится на долю автотракторного, авиационного, сельскохозяйственного и тяжелого машиностроения.

Анализ использования метода ППД для упрочнения деталей машин в отечественной и зарубежной практике показал многообразие применяемых способов упрочнения. Он подтверждает особую эффективность использования метода ППД для упрочнения деталей с концентраторами напряжений, подвергающихся знакопеременным, циклическим нагрузкам и дает возможность определить основные направления развития и расширения области внедрения метода ППД в отечественной промышленности, включающие следующие аспекты:

1. Создание теоретической базы для углубленного исследования механизма ППД и его влияния на напряженно деформированное состояние материала детали в очаге деформирования с целью интенсификации процессов пластичного деформирования, оптимизации режимов упрочнения, повышения производительности и эффективности процессов упрочнения и создания для разработки системы управления качеством и режимом изделий машиностроения.

2. Разработка новых способов упрочнения деталей методом ППД, в том числе комбинированных, предусматривающих сочетание упрочняющего воздействия метода ППД с эффектами меча, лазера, электронного луча, химико-термической обработки, электрохимического нанесения композиционных покрытий и др.

3. Создание новых конструкций высокоэффективного деформирующего инструмента и устройств (раскатки, дорны), где величина усилия деформирования может регулироваться, вместо жестких инструментов, где величина и стабильность усилий деформирования обеспечивается за счет жестких требований к точности обработки упрочняемых поверхностей.

4. Создание гаммы специализированного упрочняющего оборудования, в том числе и ЧПУ, встраиваемого в автоматизированные, роботизированные технологические комплексы упрочнения деталей узлов в условиях серийного и массового производства, а также средств неразрушающего

контроля напряженно-деформированного состояния детали до и после упрочнения, встраиваемых в упрочняющее оборудование.

5. Организация систематизированных предприятий по разработке и централизованному изготовлению промышленных образцов упрочняющего инструмента, оборудования и средств контроля, отличающихся высоким качеством и надежностью в работе и обеспечивающим ускорение внедрения, расширение масштабов применения и повышения эффективности процессов упрочнения деталей методом ППД в отечественной промышленности.

В настоящем материале рассматриваются практически все способы упрочнения методом ППД, применяемые в промышленности, показаны высокоэффективные способы упрочнения ППД в сочетании с термической, химической и другими видами обработки, расширяющими реальную возможность применения высокопрочностных сталей с мартенситной структурой для изготовления деталей с конструктивными и технологическими концентраторами напряжений, к которым предъявляются повышенные требования по статической прочности и сопротивлению усталостным разрушениям, износо- и коррозионной стойкости, вязкости. Показано, что высокая живучесть деталей, упрочняемых методом ППД достигается при комплексном подходе к выбору тех или иных способов, которые обеспечат наилучшие усталостные характеристики с учетом физико-механических свойств материалов, уровня и характера распределения наследственных остаточных напряжений 1-го рода, конструктивных особенностей деталей, наличия концентраторов напряжений.

Анализ методов ППД позволяет выполнить их определенную систематизацию.

Все существующие и перспективные (разрабатываемые или подлежащие разработке) способы упрочнения с применением ППД в зависимости от формы и размеров детали, их прочности и жесткости, технологического процесса и кинематической схемы обработки, требований к точности и качеству обрабатываемых поверхностей, вида деформирующих элементов, характером их контакта с обрабатываемой поверхностью и характером производства подразделяется с определенной степенью условности на 3 укрупненных класса – статические, динамические и комбинированные способы упрочнения.

К статическим относятся процессы упрочнения локальных рабочих (сопрягаемых) поверхностей деталей машины методом ППД, включая концентраторы напряжений, выполняемые способами обкатки, раскатки, дорнования с применением мерного или регулируемого упрочняющего инструмента, деформирующими элементами которого являются шарики или ролики, обеспечивающие непрерывное воздействие на обрабатываемую поверхность и постоянство усилия деформирования.

К динамическим относятся процессы, упрочняющие методом ППД все или большинство поверхностей деталей и узлов, в том числе крупногабаритных, таких как силовые детали планера самолетов типа панелей, ланженоров, шлангоутов, нефтюр; лопасти силовых гребных и воздушных винтов, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, выполняемые «ударными» способами с применением деформирующих элементов в виде сыпучего рабочего тела (дробь стальная, дробь стеклянная, абразив и т. д.) и специализированного упрочняющего оборудования.

К комбинированным относятся комплексные процессы упрочнения, объединяющие различные методы упрочняющей технологии, такие как химико-термические, термомеханические, гальванические и другие в сочетании со статическими или динамическими способами упрочнения металлов методами ППД.

Существует около 30 способов упрочнения с применением метода ППД внедренных или осваиваемых в производстве. Продолжаются работы по совершенствованию существующих способов и разрабатываются новые, более эффективные на базе создания оригинальных конструкций упрочняющего инструмента и оборудования. Особые надежды возлагаются на высокую рентабельность вновь разрабатываемых комплексных процессов упрочнения на основе различных комбинаций методов ППД с другими упрочняющими технологиями.

Упрочнение различными процессами термообработки

Основными требованиями к термообрабатывающим процессам является надежность обеспечения требуемых свойств, безопасность при минимальном воздействии на окружающую среду. Эти требования определяют формирование основных тенденций развития термической обработки.

В ближайшее двадцатипятилетие намечено резкое увеличение безокислительного нагрева, особенно в защитных средах и вакууме, что обеспечивает экономию металла при отсутствии окисления и обезуглероживания, высокое качество термической обработки. Наметилась общая тенденция применения методов локального упрочнения (всей поверхности или отдельных ее частей), в том числе ионного, лазерного, плазменного и т. д., а также методов насыщения в строго контролируемых условиях (нитроцементация, азотирование и др.)

Объем закалки, отпуска, отжига и нормализации нагревом в воздушной среде будет уменьшаться. Наблюдается увеличение объемов термической обработки полуфабрикатов с применением термомеханической обработки, а также развитие процессов нагрева и охлаждения в псевдосжиженном кипящем слое.

В структуре объемной термической обработки в защитных слоях предполагаются существенные изменения. При резком снижении доли от-

жиги и нормализации конструкционных сталей практикуется более широкое применение отжига (после пластической деформации) и спекания деталей из металлических сплавов и закалки быстрорежущих сталей.

В последние годы расширяется применение более простых методов получения безгенераторных атмосфер на базе газов и органических жидких смесей.

Представляет интерес получение регулируемых атмосфер путем непосредственного ввода газообразных углеводородов (метана, пропана, природного газа) в смеси с воздухом в рабочее пространство печи. При определенных соотношениях воздух – природный газ можно получать атмосферу нужного состава непосредственно в печном пространстве без применения генератора. Развитию этого метода препятствует отсутствие надежных средств регулирования углеродного потенциала в таких смесях, так как из-за нарушения термодинамического равновесия между составом газовой фазы и концентрацией углерода на поверхности металла обычные средства контроля (по точности и по содержанию CO_2) не могут применяться. Решением применения регулирования углеродного потенциала в термодинамических и равновесных средствах является использование кислородного процесса с твердым электролитом.

Электроискровое легирование (ЭИЛ)

Электроискровое легирование (ЭИЛ) металлических поверхностей основано на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (электрода) на катод (деталь) при протекании электрических разрядов в газовой среде. Электроискровое легирование осуществляется при искровой форме электрических разрядов с длительностью от 10^{-5} до 10^{-3} с.

В процессе полярного переноса паровой и жидкой фаз материала электродов, их взаимного перемещения и диффузионного проникновения на поверхности детали формируется слой, состоящий из чистого материала анода или являющийся результатом взаимодействия между собой материалов электродов и межэлектродной среды.

Например, при проведении процесса легирования в воздушной среде в поверхностных слоях металла почти всегда имеются связанные азот и кислород.

В результате электроискрового легирования изменяются размеры детали, рельеф, физические, химические и механические свойства ее поверхностного слоя. Поверхностный слой приобретает измененную структуру и состав (возникает мелкокристаллическая структура, образуются интерметаллиды, нитриды, карбиды и т. д.), чаще всего он состоит из нескольких различных слоев – «белого», который обычно не поддается травлению реактивами, применяемыми для обработки материала основы, и термодиффузионного или переходного («подслой»), представляющего собой область

термического воздействия искровых разрядов и диффузионного взаимопроникновения элементов анода и катода. Следует иметь в виду, что для закаленных сталей переходный слой может явиться зоной отпуска, величина которой будет определяться параметрами разряда, с увеличением энергии которого эта зона будет расширяться.

К основным специфическим особенностям ЭИЛ можно отнести следующие:

1) высокую прочность сцепления нанесенного материала с основой (за счет механического перемешивания и взаимного диффузного проникновения материалов электродов в формируемом слое);

2) локальность проведения процесса (обработку можно осуществить в строго заданных местах радиусом от долей миллиметра и более, не защищая при этом остальную поверхность детали);

3) возможность использования в качестве легирующих материалов как чистых металлов, так и многих сплавов, металлокерамических композиций, тугоплавких соединений и т. п.;

4) отсутствие нагрева или незначительный нагрев детали в процессе легирования, который может изменить ее физико-механические свойства и геометрию;

5) возможность диффузного обогащения металлической поверхности элементами материала анода;

6) простоту технологического процесса, малогабаритность и транспортабельность оборудования.

В настоящее время электроискровое легирование используется в следующих целях: для увеличения твердости, износо-, жаро- и коррозионной стойкости металлической поверхности;

– упрочнения и восстановления размеров деталей машин и инструмента;

– снижения склонности к схватыванию поверхностей при трении;

– проведения на обрабатываемой поверхности микрометаллургических процессов для образования на ней необходимых химических соединений;

– подготовки поверхности под другие виды обработки (создание переходных слоев, получение определенной шероховатости),

– изменения электрических свойств контактирующих элементов, электро- и радиоаппаратов и эмиссионной способности поверхности;

– нанесения радиоактивных изотопов и художественной росписи по металлам.

Важной технологической характеристикой процесса ЭИЛ является интенсивность формирования поверхностного слоя, которая зависит от величины энергии разряда, выделяющейся в межэлектродном промежутке, и среднего тока источника рабочих импульсов. В процессе обработки возни-

кает необходимость управлять данными параметрами, что осуществляется с помощью изменения режимов. Различные режимы обработки применяются в зависимости от требований, предъявляемых к формируемой поверхности, ее чистоте, сплошности, толщине, пористости, а также допустимой величине переходного слоя. Энергия разряда обычно варьируется в диапазоне от долей до 8–10 Дж, а средний ток от 0,2–0,5 до 50–80 А и более. Эти диапазоны обеспечивают проведение как чистовых, так и грубых процессов ЭИЛ.

Чем мягче применяемый режим обработки, т. е. чем меньше энергия разряда, тем меньше толщина нанесенного слоя и его шероховатость. В этом случае имеет место весьма небольшая толщина переходного слоя, а сам нанесенный слой бывает наиболее плотным и поверхность его наиболее чистой. Отсутствие переходного слоя и наличие чистой поверхности имеет иногда решающее значение при выборе режимов обработки, поэтому часто оказывается целесообразным отдавать предпочтение тонким слоям покрытий, нежели толстым, являющимся обычно более пористым и хрупким.

Специфической особенностью ЭИЛ, осуществляемого в обычных условиях является то, что перенос материала электрода на изделие имеет предел (различный для разных режимов и материалов), которому соответствует максимум на кривой прироста массы катода.

Существуют также предел толщины покрытия. Для мягких режимов обработки (энергия разряда менее 0,5 Дж) этот предел составляет 0,006 – 0,03 мм, при обработке с энергией разряда более 0,5 Дж толщина слоя по наиболее выступающим частям равна 0,05–0,12 мм. При определенных условиях обработки возможно получение толщины покрытия равной 0,2–0,5 мм и более (грубое ЭИЛ), но при этом резко снижаются его качественные показатели (плотность, равномерность, шероховатость) и т. п.

Как показывает практика, эта специфическая особенность не всегда учитывается, вследствие чего часто использование этого процесса не дает желаемого эффекта.

Для осуществления электроискрового упрочнения металлических поверхностей во многих случаях целесообразно применять твердые сплавы типа ТК и ВК (особенно при обработке инструмента), а также феррохром, хром, белый чугун, графит и другие материалы. В ряде случаев хорошие результаты получаются при использовании различных сочетаний указанных материалов (например, легирование графитом по феррохрому). Если не предъявляется больших требований к твердости поверхности и упрочнение должно быть выполнено с сохранением высокого класса чистоты поверхности, то его производят графитом. В этом случае габариты детали не увеличиваются, а упрочнение происходит за счет науглероживания и одновременно своеобразной закалки поверхности слоев металла.

Количество перенесенного материала анода на катод обычно определяется по изменению массы катода. Изменение массы катода за единицу времени (минуту) легирования единицы поверхности (1 см^2) называется удельным приростом массы и обозначается Δm . Общий прирост массы, полученный в течение определенного времени обработки 1 см^2 поверхности, называется суммарным приростом массы или просто приростом массы и обозначается m . Размерностями этих величин соответственно являются $\text{мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ и $\text{мг}/\text{см}^2$. При оценке интенсивности ЭИЛ различными металлами и их химическими соединениями прирост массы может измеряться в г-атомах и г-молях на 1 см^2 . Средние удельных приростов массы, полученных в различных условиях ЭИЛ, можно проводить только при обработке образцов с одинаковой площадью. Удельный прирост массы может быть использован для сравнения различных режимов ЭИЛ.

На практике целесообразно оценивать производительность процессов по величине площади, обрабатываемой в единицу времени, при условии получения соответствующего качества покрытия, что достигается выбором оптимального удельного времени легирования (под удельным временем легирования τ , $\text{мин}/\text{см}^2$, понимается время, затрачиваемое на обработку 1 см^2 поверхности). Оптимальное удельное время легирования ($\tau_{\text{опт}}$) находится в пределах линейного участка кривой приростов массы и определяется по качественным и эксплуатационным характеристикам покрытий.

К основным технологическим параметрам относят:

- удельный прирост массы Δm , $\text{мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$;
- производительность Π , $\text{см}^2/\text{мин}$, – определяется площадью изделия, которая может быть обработана с заданными качественными характеристиками покрытия за 1 минуту;
- энергия W единичного разряда, которая вычисляется по формуле

$$W = K \frac{C \cdot U^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (6.40)$$

где K – коэффициент, учитывающий потери энергии в разрядном контуре ($K = 0,50-0,7$); C – емкость накопительных конденсаторов, Φ ; U – напряжение на конденсаторах, В.

Рабочий ток определяет мощность режима установки при заданном напряжении на накопительных конденсаторах.

К качественным характеристикам покрытия относятся:

1. Толщина нанесенного слоя Δh , мм, – измеряется в зависимости от предъявляемых к покрытиям требованиям микрометром по максимально выступающим неровностям или по толщине «белого» слоя на микрошлифе;

2. Высота микронеровностей профиля R_z , мкм, – определяется с помощью профилографа-профилометра модели 252, микроскопа МИС-11 или прибора теневого сечения ПТС-1, или аналогичных.

3. Микротвердость H_{μ} , кгс/мм², измеряется с помощью микротвердометра ПТМ-3.

4. Сплошность C_n , % , определяется отношением площади обработанных участков (участков поверхности с измененными в процессе ЭИЛ рельефами) к общей площади поверхности, подвергнутой легированию. Определение сплошности производится визуально (с помощью лупы 4–7–кратного увеличения) или по металлографическому шлифу.

Влияние параметров процесса ЭИЛ на качественные характеристики покрытий заключается в следующем:

1. С увеличением энергии единичного разряда и величины рабочего тока удельный прирост массы, толщина и шероховатость покрытия возрастают, а микротвердость несколько снижается (последнее характерно при ЭИЛ твердыми сплавами ТК и ВК).

2. Увеличение удельного времени легирования первоначально способствует улучшению практически всех качественных характеристик слоя, но постепенно качественные характеристики слоя начинают снижаться и даже может произойти полное разрушение нанесенного слоя, а затем начаться и разрушение основы. Оптимальное время легирования устанавливается экспериментально.

Ниже приведены технологические параметры установки «Элитрон-50»:

Напряжение питающей сети	220 ± 11 В
при частоте	50 Гц
Потребляемая мощность не более	2 кВт·А
Количество режимов	6
Производительность	до 10 см ² /мин
Толщина нанесенного слоя	0,01–0,20 мм
Высота неровностей профиля покрытия	40–240 мкм
Габариты	650х450х1200 мм
Масса	140 кг

Техническая характеристика установки «Элитрон-52» такова:

Напряжение питающей сети	220 ± 11 В
Потребляемая мощность	до 3,5 кВт·А
Производительность	не менее 10 см ² /мин
Толщина слоя покрытия	0,25 мм
Высота неровностей профиля покрытий (шероховатость)	20–160 мкм
Габариты	890×620×415 мм
Масса	150 кг

Технические параметры установки «Элитрон-22» следующие:

Наименование параметра

Рабочий ток, А	0,5	1,5	2,8
Производительность, см ² /мин	0,5	2,1	5,1
Толщина нанесенного слоя покрытия, мм, до	0,03	0,06	0,12
Удельный прирост массы изделия, мг/(см ² /мин), до	0,6	2,7	9,5
Высота микронеровностей, мкм	10–13	17–20	40–60

Примечание. Настоящие данные получены при ЭИЛ стали 45 твердым сплавом Т15К6.

Электроискровое легирование штамповой оснастки

Целью электроискрового легирования является повышение стойкости разделительных и формообразующих штампов.

Электроискровому легированию подлежат участки торцевых и боковых поверхностей рабочих частей, разделительные и переходные участки поверхности рабочих частей формообразующих штампов. Легирование боковых поверхностей цельных матриц разделительных штампов возможно, если ширина окна матрицы будет более 5 мм. При меньших размерах окна легируется только торцевая поверхность (зеркало) матрицы. У формообразующих штампов легируется выпуклые участки рабочих элементов в местах перехода от одной поверхности к другой.

Легированию подлежат готовые штампы после термообработки и других видов обработки, предусмотренных технологией изготовления.

Электрические режимы при легировании разделительных штампов выбирают с учетом толщины обрабатываемого материала и зазора между пуансоном и матрицей (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Режимы ЭИЛ штамповой оснастки

Параметр	Толщина обрабатываемого материала, мм			
	0,5	1,0	2,0	5,0
Величина технологического зазора, мм	0,05	0,10	0,20	0,50
Рабочий ток, А	0,1–0,5	0,5–1,5	1,5–2,0	2,0–2,5

Ширина полосы упрочнения для разделительных штампов назначается равной $(2-4)d$, где d – толщина листа заготовки. Для формообразующих штампов ширина полосы упрочнения определяется конфигурацией и размерами формообразующих элементов.

В процессе электроискрового легирования электрод перемещают вдоль режущей кромки движения возвратно-поступательного характера со скоростью 0,5–2 см/с.

После обработки ЭИЛ возможно проведение доводки с помощью алмазного надфиля или алмазной пасты, а также использование шлифовки и притирки.

Электроискровое восстановление деталей машин

Электроискровое легирование обеспечивает возможность качественного восстановления изношенных поверхностей деталей машин, работающих в неподвижных соединениях при условии, что величина износа не превышает значения толщины покрытия, наносимого установкой.

Подготовительной операцией, предшествующей электроискровому легированию детали, является удаление с нее смазки и загрязнений, а также зачистка подлежащих восстановлению поверхностей.

Выбор электрического режима при легировании деталей машин определяется размерами деталей и величиной износа. Применение наиболее мощных ЭИЛ необходимо для доводочных операций (выглаживание, обкатка, шлифовка).

Для восстановления деталей машин применяются электроды из углеродистых и легированных сталей, твердых сплавов групп ТК и ВК (Т15К6, Т5К10, ВК8, ВК6).

Удельное время легирования выбирается из условия получения покрытия без пропусков и с требуемыми качественными характеристиками.

6.6. Балансировка деталей и узлов

6.6.1. Виды неуравновешенности

Балансировка – это устранение неуравновешивающих друг друга сил инерции в деталях машин и узлах.

Основными причинами, вызывающими неуравновешенность вращающихся деталей являются:

1. Неточность изготовления деталей;
2. Неравномерность распределения материала детали относительно оси вращения;
3. Образование различных структур в детали при термообработке;
4. Неравномерное изнашивание детали в процессе эксплуатации;
5. Пластическая деформация детали;

6. Неточная сборка узла, в результате которой образуется неравномерное распределение массы деталей;
7. Смещение детали в сборочном узле при эксплуатации;
8. Неравномерная нагрузка, приводящая к изгибу детали;

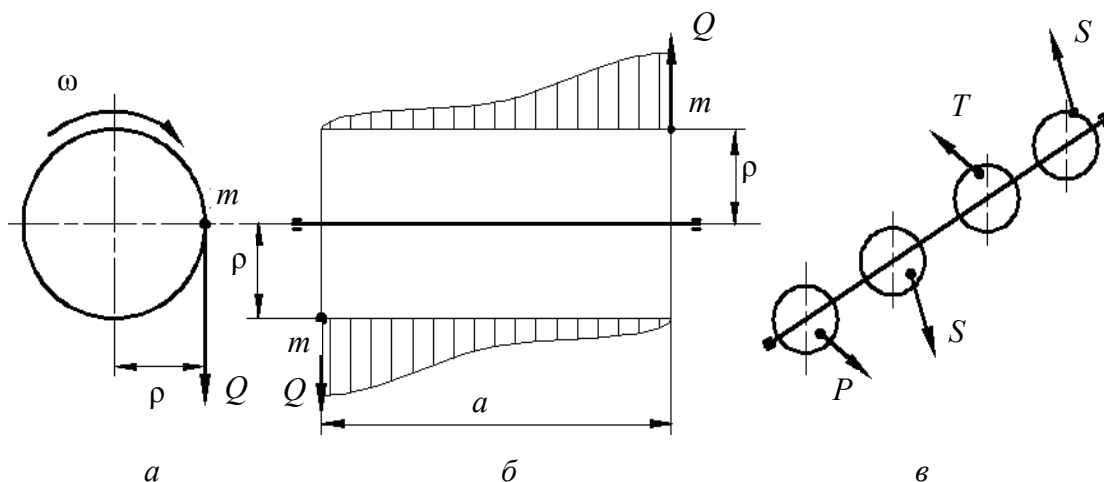


Рис. 6.9. Виды неуравновешенностей: *a* – статическая; *б* – динамическая; *в* – общая

Различают следующие виды неуравновешенности деталей и узлов (рис. 6.9):

1. Статическая неуравновешенность;
2. Динамическая неуравновешенность;
3. Общая неуравновешенность.

Статическая неуравновешенность

Статическая неуравновешенность образуется в том случае, когда неуравновешенные массы тела приводятся к одной массе и одной центробежной силе, вызываемой этой массой при вращении тела. Статическая неуравновешенность наблюдается в деталях большого диаметра и малой длины (шкивы, маховики и др.) (рис. 6.9, *a*).

Ее можно обнаружить взвешиванием на специальных весах либо на призмах, не приводя деталь во вращение.

Приведенная центробежная сила при статической неуравновешенности определяется по следующему выражению:

$$Q = m \cdot \omega^2 \cdot \rho, \text{ Н}, \quad (6.41)$$

где m – приведенная неуравновешенная масса, кг; ω – скорость вращения тела, с^{-1} ; ρ – расстояние от оси вращения до центра тяжести неуравновешенной массы, м.

Динамическая неуравновешенность

Если в детали образуются две равные и прямо противоположные центробежные силы, лежащие в одной плоскости, то получается динамическая неуравновешенность. Каждая центробежная сила определяется при этом по формуле (7.1), момент от двух сил вычисляется по формуле (рис. 6.9, б)

$$M = m \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot a, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (6.42)$$

где a – расстояние между силами, м.

Динамическая неуравновешенность встречается в деталях большой длины: коленчатых валах, роторах электрических машин, центробежных насосах, в валах редукторов.

Общая неуравновешенность

Если во вращающейся детали появляются две взаимно противоположные и равные центробежные силы (S-S) и приведенные центробежные силы (P-T, рис. 6.9, в), то возникает общая неуравновешенность. Каждая из сил определяется соответствующим уравнением:

$$p = m_1 \cdot \omega^2 \cdot \rho_1, \text{ Н}, \quad p = m_2 \cdot \omega^2 \cdot \rho_2, \text{ Н}. \quad (6.43)$$

Неуравновешенность повышает нагрузку на подшипники и, следовательно, их износ, изгибает валы, вызывает колебания и вибрацию машины. При балансировке важно определить величину сил, создающих неуравновешенность и их направление.

6.6.2. Методы балансировки

Статическая балансировка

Сущность статической балансировки заключается в определении без вращения наиболее легкой и тяжелой частей детали. Делая легкой тяжелую часть или тяжелой легкую добиваются балансировки детали. Статическую балансировку выполняют либо на призмах, либо на роликах, либо на весах.

Балансировка на призмах проводится явно выраженной неуравновешенности, когда неуравновешенная масса создает неуравновешенную силу, преодолевающую трение качения, и скрытой неуравновешенности, когда неуравновешенная сила недостаточна для преодоления трения качения.

Деталь с явно выраженной неуравновешенностью помещают на призмы таким образом, чтобы неуравновешенная масса G находилась в го-

ризонгальной плоскости, проходящей через ось диска (рис. 6.10, а). Диаметрально противоположно G помещают такой груз Q, при котором наступает равновесие. Проверку равновесия производят обычно в 4 положениях детали (А, Б, С, Д). Уравновешивающий груз взвешивают и добавляют на диск либо убирают с противоположной стороны (если это возможно) сверлением, точением, анодно-механической обработкой.

При скрытой неуравновешенности окружность диска разбивают на 8–12 частей (рис. 6.10, б) и помечают цифрами. Каждую точку деления помещают в плоскость А–А поочередно, прикрепляя груз G такой массы, чтобы диск поворачивался на один и тот же градус (обычно 10). Грузы взвешивают. Точка, где оказался груз наименьшей массы, указывает на место неуравновешенной массы. Эту точку переводят в плоскость А–А (например т. 4) и уравновешивают противоположную сторону грузом массой $G = G_8 - G_4$.

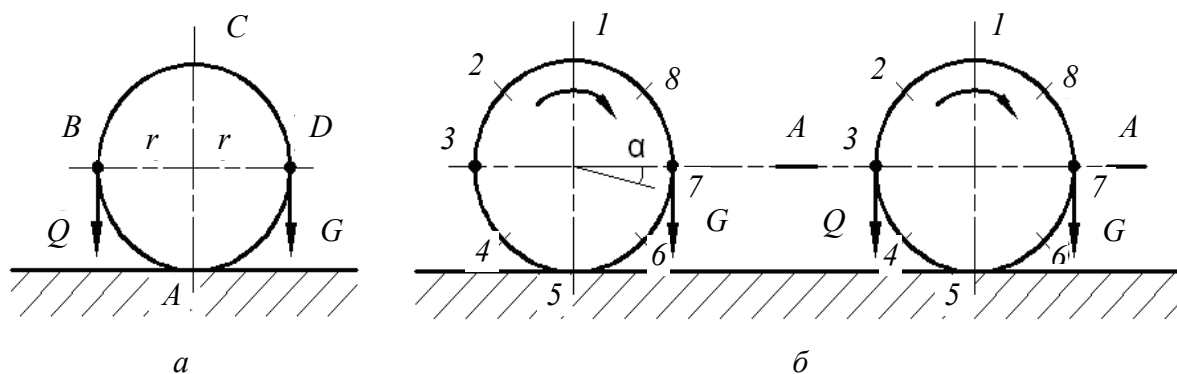


Рис. 6.10. Схемы статической балансировки: а – явно выраженной неуравновешенности; б – скрытой неуравновешенности

Для балансировки применяют магнитные либо пружинные грузы разной массы. Точность балансировки на призмах бывает тем выше, чем качественнее их поверхность. Недостатком балансировки на призмах является невозможность выверки тел с нецилиндрическими образующими либо с многоступенчатым профилем. В этом случае балансировку проводят на роликах, в центрах либо на весах.

Балансировочные весы для дисков малого диаметра применяют вертикального типа, для большого диаметра – горизонтального типа (рис. 6.11). На правом конце коромысла 1 в открытых подшипниках 2 устанавливают деталь 3. На левой стороне подвешивают груз 4. Если центр тяжести смещен относительно оси вращения, то при взвешивании в различных положениях весы будут давать различные показания. При положении неуравновешенной массы в положении 1 и 3 весы покажут действительную мас-

су, в положении 2 – завышенную, в положении 4 – заниженную. Детали большого диаметра (колеса вентиляторов, копровые шкивы и др.) балансируют на горизонтальных весах. Методика балансировки аналогична вертикальным весам.

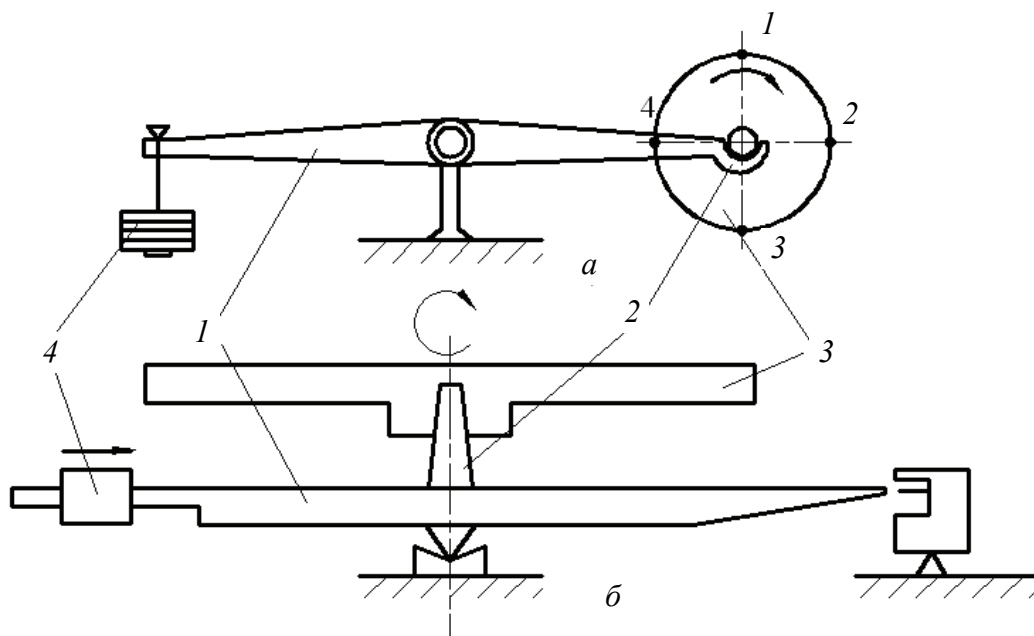


Рис. 6.11. Балансировочные весы

Контроль качества статической балансировки осуществляют следующим образом. Практически допустимым считают дисбаланс Q , который при нормальной скорости вращения диска дает неуравновешенную центробежную силу, не превышающую 4–5 % веса G диска. Следовательно, справедливым будет уравнение

$$m \cdot \rho \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = 0,045 \cdot G, \quad (6.44)$$

где G – вес детали, Н; ρ – радиус действия неуравновешенной массы относительно оси вращения, м; n – частота вращения, мин⁻¹.

Из выражения (6.44) определяют неуравновешенную допустимую массу по формуле

$$m = \frac{40 \cdot G}{n^2 \cdot \rho}, \text{ кг.} \quad (6.45)$$

Динамическая балансировка

Динамическая балансировка осуществляется несколькими основными способами: способом максимальных отметок; способом обхода пробным грузом; с помощью балансировочных станков.

Рассмотрим способ максимальных отметок. Каждую сторону детали балансируют отдельно. Одну сторону (например, конец вала) делают подвижной, а противоположную закрепляют.

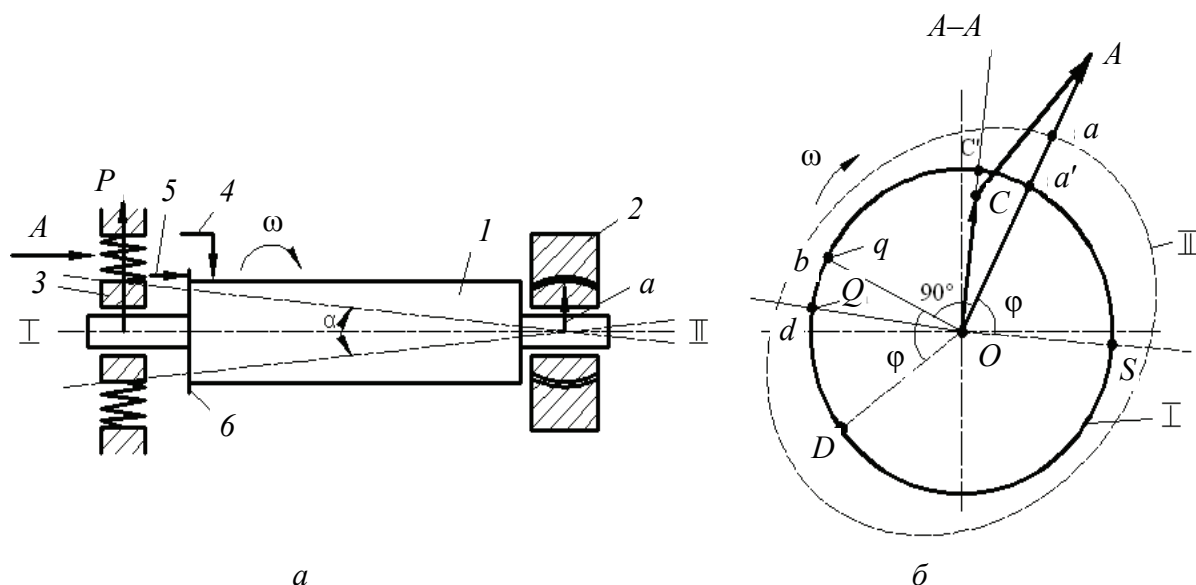


Рис. 6.12. Схемы динамической балансировки

Балансировку осуществляют следующим образом:

1. Определяют на валу *1* окружность расположения уравнивающего груза. Вращают вал *1* с резонансной частотой вращения, когда частота вращения вала совпадает с частотой свободных колебаний системы: вал – подшипник – опора. При резонансной частоте вращения амплитуда колебаний свободного конца вала будет максимальной (рис. 6.12, *а*).

2. Измеряют максимальную амплитуду колебаний свободного конца вала с помощью измерителя *4*.

3. Наносят отметки на участок цилиндрической поверхности вала с помощью отметчика *5*. Для этого участок около подвижной шейки вала (I) забеливают мелом, растворенным в бензине, или устанавливают измерительный экран *б*. Первую отметку наносят отметчиком при вращении вала на резонансных оборотах (рис. 6.12, *б*).

4. Определяют максимальную точку колебаний окружности вращения вала *а* на отмеченной дуге.

5. Останавливают вал, соединяющий точку a с центром вращения вала. Точку a переносят на окружность расположения уравнивающего груза a' .

6. В противоположную сторону относительно вращения на окружности наносят радиус Ob под углом 90° к Oa . В точку b помещают пробный груз q .

7. Вращают вал и на резонансных оборотах делают вторую отметку c . Измеряют амплитуду вибрации опоры I. Сносят точку c на окружность l , получают точку c' .

8. На бумаге в произвольном масштабе проводят окружность и переносят на нее точки a' , b' , c' . Затем на радиусах Oa' и Oc' откладывают в определенном масштабе вектор OA – амплитуду вибрации подшипника без груза q и вектор Oc – при вращении с пробным грузом q . Тогда вектор AC будет являться амплитудой вибраций опоры I под действием силы, вызываемой только грузом q .

9. Треугольник OAC можно рассматривать как треугольник сил, вызывающих вибрацию подшипника с определенными амплитудами.

10. Значение необходимого уравнивающего груза Q_1 находят из выражения

$$\frac{Q_1}{q} = \frac{OA}{AC}, \quad \text{откуда} \quad Q_1 = \frac{q \cdot OA}{AC}.$$

11. Для определения места расположения уравнивающего груза Q_1 из центра оси вращения вала O проводят радиус OD , параллельный вектору AC . Точка D будет являться точкой наибольшего отклонения вала под действием центробежной силы пробного уравнивающего груза q , а угол φ определяет запаздывание наибольшего размаха отклонения от направления центробежной силы вследствие влияния инерции движущейся системы.

12. Угол φ зависит в основном от частоты вращения вала ω . Так как при вращении ω постоянна, то и угол φ также будет постоянным. Поэтому, отложив от радиуса OA в направлении вращения вала угол, получим радиус OS , который определяет направление центробежной силы, вызываемой неуравновешенностью вала.

13. Место положения уравнивающего груза Q_1 определяется в т. d , которая получается при пересечении на другой стороне окружности линии, проходящей через OS .

14. Прикрепив найденный груз Q_1 на места в точку d , переходят к балансировке второго конца вала, определяя необходимую массу груза Q_2 .

15. Освобождают оба конца вала и вращают с целью проверки. Если наблюдается незначительная вибрация с противоположных сторон, на ко-

торых закреплены грузы Q_1 и Q_2 , то для улучшения балансировки закрепляют дополнительные грузы q_1 и q_2 (под углом 180° к Q_1 и Q_2). Массу грузов определяют опытным путем. Их либо привинчивают, либо наклепывают, либо приворачивают. Вместо увеличения массы легких участков вала можно уменьшить массу тяжелых участков сверлением, обрубкой, шлифовкой, анодно-механической обработкой и др.

Рассмотрим способ обхода грузом. Способ обхода пробным грузом является более надежным, но требует значительно большего времени для балансировки. В этом случае каждый конец вала также балансируют (рис. 6.13) отдельно.

1. Окружность вала делят на 8–12 частей. Точки помечают порядковыми номерами (рис. 6.13).

2. После этого измеряют амплитуды колебаний на резонансных оборотах без уравновешивающего груза.

3. Затем на каждую точку прикрепляют груз q одной и той же известной массы и измеряют амплитуды колебаний с грузом q .

4. Определяют точку, в которой амплитуда будет наибольшей. Следовательно, в этом направлении будут действовать силы инерции.

5. Противоположно направлению сил инерции устанавливают на вал уравновешивающий груз Q_1 , массу которого определяют пробным путем.

6. При явно выраженной неуравновешенности, когда силы инерции превышают силы упругости пружин подвески конца вала, дополнительный груз можно не применять, ориентируясь на амплитуды колебаний при вращении вала.

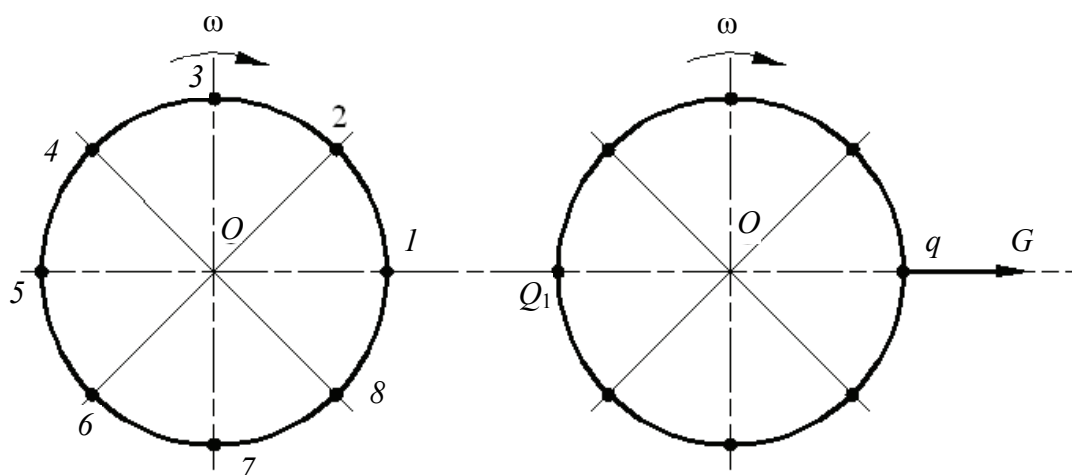


Рис. 6.13. Схема балансировки обхода грузом

Рассмотрим балансировку вращающихся деталей на балансировочных станках и стендах. Существует множество конструкций балансиро-

вочных станков, стенов: с одним зажатом концом вала, с обоими концами, установленными с возможностью вращения вала с определенными амплитудами и т. д.

Представляет интерес станок с балансировочными шарами (рис. 6.14, а). Вал одним концом либо обоими устанавливается на пружинную подвеску. На конец вала устанавливается балансировочная головка, представляющая собой цилиндр с двумя или с тремя шарами.

При вращении вала, имеющего дисбаланс, его центр вращения будет смещен в т. O_1 на расстояние ρ относительно его геометрической оси. В результате вращения на шары, находящиеся в балансировочной головке, будут действовать центробежные силы G , которые можно разложить на силы R радиальные, направленные из т. O , и касательные K , перпендикулярные им. Под действием сил K шары перекатываются внутри головки, стремясь уравновесить дисбалансную силу G_g , появляющуюся в результате неуравновешенной массы Q_g . Таким образом, вал автоматически уравнивается.

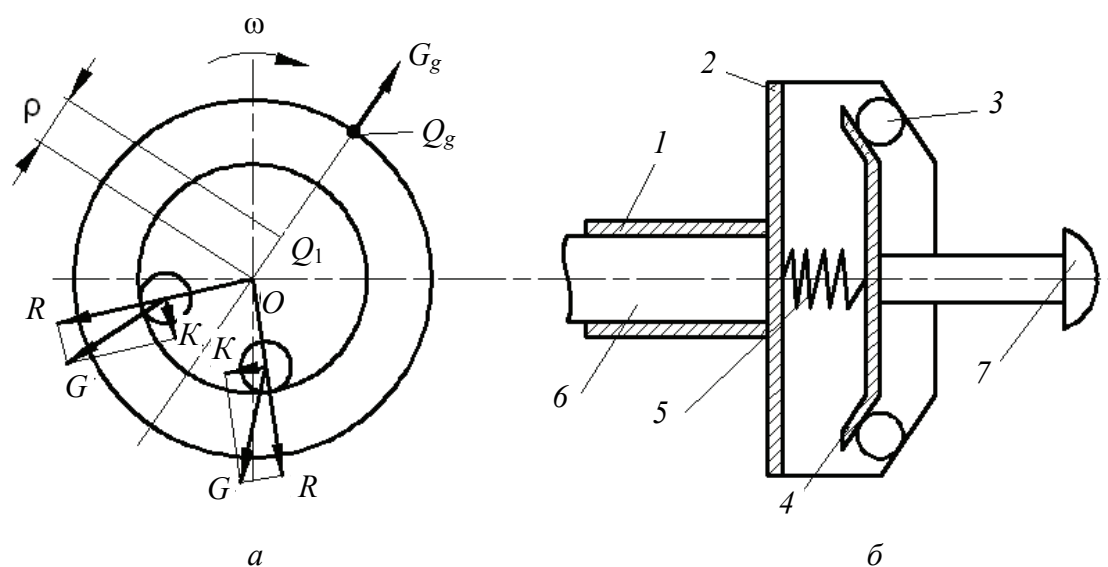


Рис. 6.14. Схемы станка с балансировочными шарами и балансировочной головки

Головка имеет корпус 2, вращающийся на валу 6 и закрепленный на нем с помощью втулки 1. При достижении номинальной частоты вращения нажимают на грибок 7, который с помощью пружин 5 освобождает шарики 3. Они, перекатываясь, устанавливаются на место, где обеспечивается баланс, затем опускают грибок 7 и зажимают шары 3 (рис. 6.14, б).

Контроль качества динамической балансировки осуществляют разными методами, включая и компьютерную обработку результатов работы.

Таблица 6.5

**Допустимая амплитуда остаточных вибраций
в результате динамической балансировки**

Частота вращения n , мин ⁻¹	Допустимая амплитуда A , мм		
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
До 1 000	0,04	0,07	0,1
1 000–1 500	0,03	0,06	0,07
1 500–3 000	0,01	0,03	0,05

Практически контроль качества динамической балансировки оценивают по значениям амплитуды остаточных вибраций (табл. 6.5).

6.7. Организация службы главного механика горного предприятия

6.7.1. Управление механической службой

Управление механической службой осуществляет главный механик, который отвечает за безотказную работу, своевременное техническое обслуживание и ремонт всего технологического оборудования на предприятии.

Структура управления механической службой зависит от мощности предприятия, номенклатуры и количества используемого оборудования, объёма ремонтных работ.

Типовая структура механической службы предприятия представлена на рис. 6.15.

В структуре службы главного механика имеются также автоматизированные системы управления, осуществляющие оптимальное планирование, учет и оперативный контроль технического обслуживания и ремонта.

Производственные цехи (участки) ежемесячно отчитываются перед отделом главного механика предприятия о проведении ремонтов оборудования, выполненных за месяц.

Отдел главного механика предприятия систематически следит за правильной эксплуатацией и техническим обслуживанием оборудования,

контролирует выполнение плановых ремонтов в соответствии с графиком ППР и ежемесячно информирует вышестоящую организацию о работе ремонтно-механической службы предприятия, об уровнях эксплуатации и ремонта основного оборудования (по произвольной форме).

Предприятия представляют соответствующим органам управления и промышленным объединениям полугодовые отчеты и ежегодно сведения о деятельности ремонтно-механической службы.

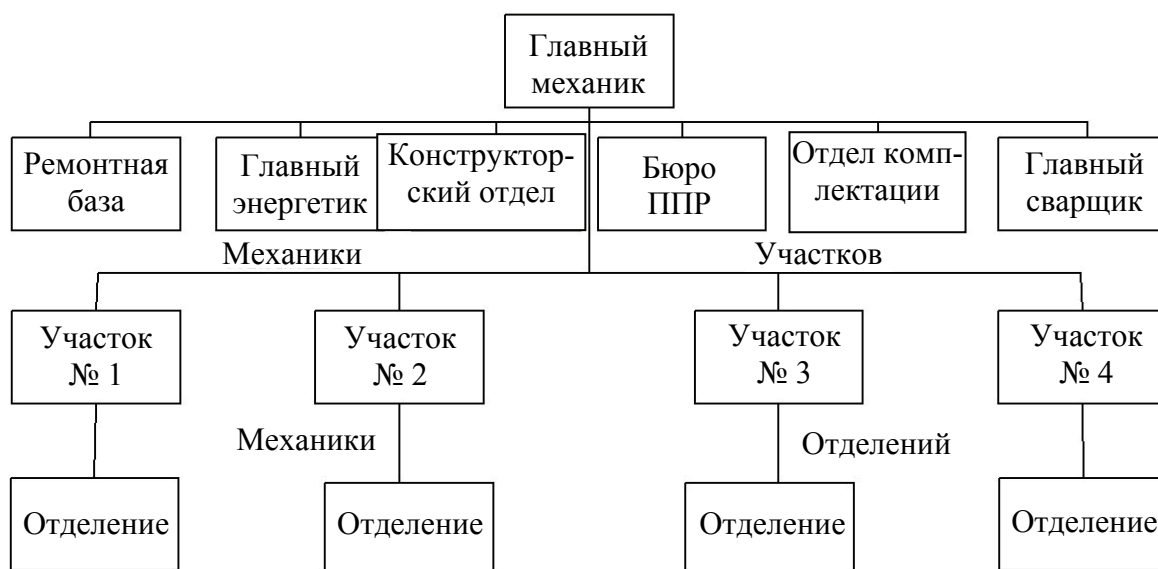


Рис. 6.15. Типовая структура механической службы предприятий

Соответствующие органы управления и промышленные объединения представляют годовые сводные отчеты Управлению главного механика отрасли.

Специализированные подрядные ремонтные организации отчитываются перед своими вышестоящими организациями ежемесячно и ежегодно.

Предприятия должны вести систематическую работу по совмещению профессии эксплуатационного и ремонтного персонала, расширению зон обслуживаемого им оборудования и привлечению эксплуатационного технологического персонала к техническому обслуживанию оборудования и ремонтам. При этом имеется в виду следующее:

- объединение профессий электросварщика и газорезчика, обучение ремонтных слесарей, бригадиров и дежурных слесарей специальностям электросварщиков, газосварщиков и газорезчиков и поручение им соответствующих работ в смене и при ремонтах оборудования;
- обучение эксплуатационного технологического персонала ремонтным профессиям;

- расширение участков, обслуживаемых дежурным персоналом, путем целесообразного их объединения;
- применение стимулирующих методов оплаты труда, направленных на внедрение перечисленных выше рекомендаций.

6.7.2. Организация работы конструкторского бюро

Важным условием успешной работы службы главного механика является четко организованная конструкторская работа. С этой целью на каждом предприятии организация конструкторской работы вменяется в обязанности конструкторскому бюро, подчиненному главному механику предприятия.

Основными задачами конструкторских бюро являются: составление альбомов чертежей оборудования; получение чертежей на запасные части к оборудованию от заводов-изготовителей; изготовление чертежей на запасные части к оборудованию; копирование чертежей, формирование конструкторской документации на реконструкцию и модернизацию оборудования.

Работа конструкторского бюро ведется по плану, утверждаемому на квартал. Задания на выполнение чертежей выдаются механиками цехов через главного механика предприятия или его заместителя.

Рабочие чертежи, выполненные в конструкторском бюро, должны быть оформлены в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и иметь номер по принятой в конструкторском бюро нумерации.

Одной из основных задач конструкторских бюро является систематическое выполнение работ по унификации и нормализации узлов и деталей оборудования.

Унификация деталей и узлов позволяет сократить число изготавливаемых типоразмеров, совершенствовать их конструкцию, применять наиболее прогрессивную технологию их производства, включая упрочнение, а также снизить необходимый запас деталей и узлов на складах.

Предприятиям и проектным институтам при модернизации или реконструкции оборудования, в том числе нестандартизированного, необходимо максимально применять типовые узлы и детали.

При унификации деталей и узлов используются альбомы рабочих чертежей, в которых фиксируются все данные о деталях и узлах и требования к ним (размеры, материалы, качество обработки, допуски и т. д.) и паспорта оборудования, в которых систематически фиксируются все изменения, вносимые при модернизации оборудования, его узлов и деталей.

Запрещается вносить изменения в конструкции узлов и деталей без согласования с разработчиками машины.

В случае очень большой экономической эффективности изменения, последнее должно быть согласовано с институтом-разработчиком документации и заводом-изготовителем.

Учет, хранение и обращение конструкторской документации должны осуществляться в соответствии с ГОСТ 2.501–68 «Единая система конструкторской документации. Правила учета и хранения».

Конструкторская документация сдается в технический архив на хранение в комплектном виде (полный комплект документации или завершенная часть, имеющая самостоятельное значение).

Текстовая документация (пояснительные записки, расчеты, сметы и др.) сдается на хранение в виде сброшюрованных томов, первого экземпляра машинописного текста.

При приемке подлинников документов проверяются следующее:

- комплектность документации, наличие подлинных подписей должностных лиц и ответственных за нормоконтроль;
- пригодность для хранения, многократного снятия копий, микрофильмирования.

Принятые на хранение документы учитываются в инвентарных книгах.

Инвентарные книги заполняются на основании данных основных надписей (штампов) и титульных листов, сброшюрованных текстовых материалов.

Инвентарные книги ведутся отдельно на подлинники чертежей, текстовые документы, документы сторонних организаций, технические документы для служебного пользования.

Подлинники чертежей хранятся по объектно-марочному принципу, при котором конструкторская документация систематизируется по объектам, внутри объекта – по видам оборудования, внутри видов оборудования – по возрастающей нумерации чертежей без учета их форматов.

Конструкторская документация, хранящаяся в техническом архиве, является частью информационного фонда и используется работниками предприятия и представителями сторонних организаций.

Лицам сторонних организаций документация выдается для ознакомления только в помещении технического архива по письменным запросам заинтересованных организаций и с разрешения руководства предприятия.

Поиск конструкторской документации осуществляется с помощью справочно-поискового аппарата, состоящего из каталогов или картотек.

Подлинники чертежей могут выдаваться только для изготовления дубликатов, для внесения изменений при наличии оформленных на это разрешений и для снятия копий.

На всех работников предприятия, пользующихся документами технического архива, должны заводиться формуляры библиотечного образца, которые располагают в картотеке по алфавиту фамилий абонентов.

При получении документов абонент обязан проверять их состояние, комплектность и расписываться в их получении в своем формуляре. В документации, запрещается делать какие, бы то ни было пометки, записи, изымать отдельные листы и заменять их другими, вносить изменения без оформления разрешений на внесение изменений.

При возвращении документов работники технического архива обязаны проверять их состояние, комплектность и погашать расписку абонента в его присутствии.

Выдача подлинников для внесения изменений, а также внесение изменений в подлинник должны производиться в соответствии с ГОСТ 2.503–74 «Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений».

Документом, в котором концентрируются и систематизируются все данные о сменных деталях оборудования, является номенклатурная ведомость.

Составление номенклатурных ведомостей имеет целью определение и фиксирование сроков службы деталей, разработку нормативов для установления необходимого неснижаемого запаса деталей и узлов и составления заявок на их получение или на материалы для их изготовления.

Номенклатурные ведомости составляются для каждого вида оборудования на основании данных заводов-изготовителей и практических данных о сроках службы деталей.

По мере улучшения обслуживания и эксплуатации оборудования, повышения прочности и износостойкости деталей необходимо периодически вносить поправки в зафиксированные в номенклатурных ведомостях сроки службы деталей и узлов оборудования.

Внедрение мероприятий по улучшению прочности и износостойкости деталей позволяет повысить срок службы деталей и увеличить межремонтный период работы оборудования.

С этой целью предприятия обязаны осуществлять следующее:

- расширять применение износостойких материалов в узлах и деталях оборудования, таких как износостойкие хромистые чугуны, модифицированные стали, абразивостойкие и кислотостойкие полимерные материалы (резина, полиуретан, термопластик и др.), полимербетоны, жаростойкие бетоны;
- совершенствовать конструкции деталей и узлов;
- применять совершенную прогрессивную технологию изготовления деталей;
- повышать точность и чистоту обработки поверхности деталей;
- применять при восстановлении и ремонте узлов и деталей упрочняющую наплавку прогрессивными материалами (наплавочные порошки, ленты, порошковые проволоки), новые технологические процессы восстановления и упрочнения деталей, включая напыление полимерами и металлами, плазменное напыление порошками (карбидами) и др.;

– применять для защиты поверхностного слоя деталей от воздействия агрессивных сред нанесение различных металлических и неметаллических покрытий (хромирование, гуммирование, нанесение химически стойких красок и др.);

– обеспечить правильный подбор смазки и применение присадок к маслам и консистентным смазкам, повышающих их смазочные и противозносные свойства.

Важнейшими условиями, обеспечивающими внедрение мероприятий по повышению прочности и износостойкости деталей, являются:

– наличие на предприятиях квалифицированных кадров по упрочнению деталей (металловедов, термистов, наплавщиков и др.);

– оснащение предприятий необходимым для выполнения упрочняющей технологии оборудованием и аппаратурой;

– составление на каждом предприятии номенклатуры узлов и деталей, подлежащих изготовлению из износостойких, высокопрочных материалов (хромистые чугуны, модифицированные стали и сплавы, резины, термопласты и др.), упрочнению при производстве и восстановлении методами наплавки, напыления, и организация внедрения этих материалов и процессов;

– организация систематического учета стойкости деталей;

– использование имеющихся мощностей или организация новых цехов, участков для изготовления деталей из износостойких, высокопрочных материалов и упрочнения деталей.

6.7.3. Организация смазочного хозяйства

Правильно организованная и рациональная смазка оборудования обеспечивает увеличение его долговечности, экономию смазочных и ремонтных материалов, запасных частей, снижение потребности в ремонтном персонале в соответствии с действующим законодательством об охране природы и рациональном использовании природных ресурсов, рекомендациями по организации смазочного хозяйства на предприятиях.

Предприятия обязаны организовывать полный сбор отработанных нефтепродуктов. Для решения этой задачи рекомендуется делать следующее:

– обеспечивать регенерацию отработанных нефтепродуктов;

– разрабатывать мероприятия по предотвращению загрязнения почвы и водоемов отработанными маслами и нефтепродуктами;

– назначать ответственных лиц за сбор отработанных масел и других нефтепродуктов, сдачу их на приемные пункты, нефтебазы нефтесбытовых организаций.

Основным руководящим материалом, определяющим порядок сбора отработанных нефтепродуктов и сдачи их на приемные пункты нефтебаз, является ГОСТ 21046–81 «Нефтепродукты отработанные».

Предприятия обязаны создать пункты по приему, хранению и сдаче отработанных нефтепродуктов. Эти пункты должны состоять минимум из трех емкостей, оборудованных соответствующими перекачивающими средствами для приема и выдачи нефтепродуктов.

Регенерация отработанных и использование регенерированных масел на этом же предприятии являются наиболее рентабельным решением вопроса использования отработанных масел.

Вопросами смазки технологического оборудования должны заниматься группы (на крупных предприятиях) или старшие инженеры при отделах главного механика, а также механики и энергетики цехов, участков и транспортных хозяйств.

Под их контролем находятся:

- раздаточные склады смазочных материалов;
- маслозаправщики для передвижного оборудования;
- участки обслуживания смазочных систем;
- мастерская по ремонту смазочного оборудования и аппаратуры;
- пункт регенерации масел;
- группа по анализу смазок при химической лаборатории.

В их задачи входят:

- наблюдение за работой оборудования, его смазкой и износом, подготовка и предъявление претензий заводам-поставщикам технологического оборудования по недостаточной износостойкости смазываемых узлов и деталей;
- внедрение новых и реконструкция существующих смазочных систем, централизация и автоматизация смазки;
- предъявление претензий к заводам-изготовителям технологического и смазочного оборудования и приборов смазки и организация сдачи смазочного оборудования в ремонт;
- внедрение новых смазок и присадок;
- разработка лимитов или норм расхода смазочных материалов и контроль за их соблюдением;
- разработка и контроль мероприятий, обеспечивающих непопадание смазки в технологический процесс и в сточные воды; внедрение механизации подачи и раздачи масел из мелкой тары;
- своевременная очистка тары и емкостей;
- составление заявок на смазочные материалы, подбор форм и наблюдение за учетом в смазочном хозяйстве, составление отчетов;
- систематическая проверка качества смазочных материалов.

Организация смазочного хозяйства на предприятии должна начинаться с составления карт смазки оборудования. Карта смазки является

первичным основным документом для последующего правильного решения всех вопросов смазочного хозяйства.

Карта смазки служит для расчетов сменной, суточной, месячной и годовой потребности в смазочных материалах как для отдельного оборудования, так и для предприятия в целом, штата обслуживающего персонала, объема приема, хранения и транспортирования смазочных материалов на предприятии.

Если оборудование поступило на предприятие с картой смазки, то должна быть произведена оценка рекомендации завода-изготовителя по смазке этого оборудования с учетом условий эксплуатации его на данном предприятии (температурные условия, влажность, агрессивность окружающей среды и др.), а также используемых на предприятии видов смазочных материалов.

Предприятия должны разрабатывать мероприятия по повышению уровня организации и улучшению работы смазочного хозяйства и обеспечивать постоянный контроль выполнения этих мероприятий.

Состояние смазочного хозяйства и пути его улучшения отражаются в справке о деятельности ремонтно-механической службы предприятия, ежегодно представляемой в Управление главного механика министерства (отрасли).

6.7.4. Финансирование ремонтных работ

Затраты на капитальный ремонт оборудования производятся за счет средств амортизационных отчислений в пределах сумм, запланированных на год. При неравномерном распределении затрат по кварталам предприятия могут использовать кредит банка на сезонный недостаток амортизационных отчислений.

Начисление амортизационных отчислений на капитальный ремонт производится отделом главного бухгалтера по утвержденным нормам.

Работы по модернизации оборудования, проводимые одновременно с капитальным ремонтом, также могут финансироваться за счет средств амортизационных отчислений. При выполнении работ по модернизации оборудования, проводимых одновременно с реконструкцией предприятия, цеха и т. п., их финансирование производится за счет ассигнований на капитальное строительство или ссуд банка.

В тех случаях, когда это экономически целесообразно, предприятие взамен капитального ремонта может приобретать новое оборудование за счет амортизационных отчислений, предназначенных на капитальный ремонт.

Затраты на межремонтное обслуживание оборудования и текущие ремонты относятся на себестоимость выпускаемой продукции.

Отдел главного механика контролирует расходование средств на капитальный ремонт оборудования, находящегося в его ведении.

Контроль за расходом средств на межремонтное обслуживание оборудования и текущие ремонты осуществляет руководство предприятия, владеющего оборудованием.

Перспективы развития горнодобывающей отрасли промышленности России неотделимы от задачи правильной организации технического обслуживания и ремонта горной техники на базе внедрения новых систем планирования ТО и Р, перспективных методов восстановления и повышения износостойкости деталей и узлов машин. При этом должны использоваться новейшие достижения науки в процессах восстановления деталей машин и механизмов, внедряться программные средства для планирования ТО и Р и разработки текущих и перспективных графиков ремонта.

Дальнейшее развитие горнодобывающей отрасли будет происходить не только за счет разработки и ввода в эксплуатацию новых горных машин и комплексов, но и за счет интенсификации работы существующего оборудования, его модернизации и продления сроков службы.

Большое значение в достижении эффективной эксплуатации горной техники приобретает правильная организация работы энерго-механической службы и высокий технический уровень ремонтно-механических баз горнодобывающих предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение горных машин и оборудования на горнодобывающих предприятиях характеризуется эксплуатационным периодом, который содержит два основных направления: производственную и техническую эксплуатацию.

Производственная эксплуатация горной техники содержит её выбор в соответствии с горно-геологическими условиями разработки месторождения, использование по назначению и профессиональную подготовку кадров для управления работой и обслуживания машин.

Основным этапом в применении горных машин и оборудования, определяющим долговечность и работоспособность, срок службы и эффективность работы, является техническая эксплуатация. Эффективность технической эксплуатации горной техники определяется комплексом мероприятий, требующих от эксплуатационного персонала высокой организации труда, профессиональных знаний в области технического обслуживания и ремонта, монтажно-демонтажных работ, триботехники, диагностики, реновации и безопасной эксплуатации машин.

Одним из основных факторов эффективной эксплуатации горной техники является её базовая и эксплуатационная надежность, характеризуемая не только долговечностью и работоспособностью, но и ремонтпригодностью.

Уровень ремонтпригодности горной техники определяется такими показателями, как вероятностью восстановления в заданное время и временем восстановления. При этом указанные показатели ремонтпригодности на практике во многом зависят от соблюдения правил эксплуатации машин и организации их технического обслуживания и ремонта.

На протяжении многих десятилетий (более 75 лет) основой организации технического обслуживания и ремонта горной техники является система планово-предупредительных ремонтов (ППР). В последние годы в систему ППР внедряется техническая диагностика, основанная на применении современных методов и средств измерения и контроля изнашивания деталей и механизмов: ультразвуковых, радиационных, электромагнитных, акустико-эмиссионных и др.

Большую роль в достижении высокой эффективности эксплуатации горных машин и оборудования играет организация энерго-механической службы горного предприятия, включающая управление службой главного механика, работу конструкторских отделов, бюро ППР, смазочного хозяйства и ремонтно-механической базы, а также финансирование ремонтных работ.

Учитывая широкий спектр и большой объем мероприятий, следует утверждать, что техническая эксплуатация является ключевым звеном, определяющим эффективность работы горных машин и оборудования на горнодобывающих предприятиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.002–89 . Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : – Введ. 1990 – 07 – 01. – М. : Изд-во стандартов, 1990 – 37 с.
2. Буткин, В. Д. Проектирование буровых долот для открытых горных, земляных и строительных работ / В. Д. Буткин, А. В. Гилев, В. Т. Чесноков и [др.]. – М. : МАКС Пресс, 2005 – 240 с.
3. Притыкин, Д. П. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин / Д. П. Притыкин – М. : Металлургия, 1985 – 350 с.
4. Плахтин, В. Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин / В. Д. Плахтин. – М. : Металлургия, 1983 – 415 с.
5. Гилев, А. В. Эксплуатация горного оборудования : учеб. пособие / А. В. Гилев ; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1996 – 128 с.
6. Шилов, П. М. Технология производства и ремонт горных машин / П. М. Шилов – М. : Недра, 1986. – 400 с.
7. Хебда, М. Справочник по триботехнике. Т. 1. Теоретические основы / М. Хебда, А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1989. – 400 с.
8. Шульц, В. В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента / В. В. Шульц. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 208 с.
9. Кравченко, В. М. Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования / В. М. Кравченко. – М. : АссоМ, 2005. – 504 с.
10. Неразрушающий контроль и диагностика : справ. / под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Изд-во «Машиностроение», 2003. – 656 с.
11. Русихин, В. И. Эксплуатация и ремонт механического оборудования карьеров : учеб. для вузов / В. И. Русихин. – М. : Недра, 1982. – 214 с.
12. Положение о планово-предупредительных ремонтах оборудования и транспортных средств на предприятиях Министерства цветной металлургии СССР. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 176 с.
13. Махно, Д. Е. Эксплуатация горных машин и оборудования : учеб. пособие / Д. Е. Махно, Н. Н. Страбыкин, С. С. Леоненко и [др.] ; ИрГТУ. – Иркутск, 2001. – 551 с.
14. Квагинидзе, В. С. Эксплуатация карьерного оборудования : учеб. пособие / В. С. Квагинидзе, В. Ф Петров, В. Б. Корецкий – М. : Мир горной книги, изд-во «Горная книга», 2007. – 578 с.
15. Махно, Д. Е. Техническое обслуживание и ремонт экскаваторов на карьерах Севера. Организация и механизация / Д. Е. Махно, А. И. Шадрин, А. П. Макаров [и др.] – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1993. – 200 с.
16. Гельберг, Б. Т. Ремонт промышленного оборудования : учеб. для сред. профтехн. училищ. / Б. Т. Гельберг, Г. Д. Пекелис. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк; 1981. – 256 с.

17. Коваль, А. Н. Техническое обслуживание и ремонт горно-шахтного оборудования / А. Н. Коваль, А. М. Горлин, В. И. Чекавский [и др.]. – М. : Недра, 1987. – 344 с.
18. Донченко, А. С. Справочник механика рудной шахты / А. С. Донченко, В. А. Донченко, А. А. Соснин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1991. – 368 с.
19. Грнебеник, В. М. Повышение надежности металлургического оборудования / В. М. Грнебеник, А. В. Гордиенко, В. К. Цапко. – М. : Металлургия, 1988. – 688 с.
20. Молодых, Н. В. Восстановление деталей машин / М. В. Молодых, А. С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.
21. Бубновский, Б. И. Ремонт шагающих экскаваторов : справ. / Б. И. Бубновский, В. Н. Ефимов, В. И. Морозов. – М. : Недра, 1991. – 347 с.
22. Вробьев, Л. Н. Технология машиностроения и ремонт машин / Л. Н. Воробьев. – М. : Высш. шк.: 1984. – 344 с.
23. Солод, Г. И. Технология машиностроения и ремонт горных машин / Г. И. Солод, В. И. Морозов, В. И. Русихин. – М. : Недра, 1988. – 42 с.
24. Поляк, М. С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения : в 2 т. / М. С. Поляк. – М. : Л.В.М. – СКРИПТ ; Машиностроение, 1995. – Т. 1. – 832 с. Т. 2. – 850 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. НАДЕЖНОСТЬ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ.....	5
1.1. Основы теории надежности.....	5
1.1.1. Основные понятия и определения надежности.....	5
1.1.2. Классификация состояний объекта.....	6
1.2. Показатели надежности.....	7
1.2.1. Единичные показатели надежности.....	7
1.2.2. Комплексные показатели надежности.....	10
1.3. Теория вероятности в расчетах надежности машин.....	11
1.3.1. Элементы теории вероятности.....	11
1.3.2. Закон распределения случайной величины.....	11
1.4. Законы распределения наработки до отказа и их применение в расчетах показателей надежности оборудования.....	14
1.4.1. Законы распределения наработки до отказа.....	14
1.4.2. Расчет показателей надежности оборудования.....	19
1.5. Обеспечение надежности горной техники.....	25
1.5.1. Обеспечение базовой надежности.....	25
1.5.2. Обеспечение эксплуатационной надежности.....	27
2. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ.....	30
2.1. Система эксплуатации горных машин.....	30
2.1.1. Производственная и техническая эксплуатация.....	30
2.1.2. Сборка машин и оборудования.....	32
2.1.3. Монтаж машин и оборудования.....	51
2.2. Основные требования безопасной эксплуатации горной техники.....	74
2.2.1. Общие положения.....	74
2.2.2. Эксплуатация буровых станков.....	75
2.2.3. Эксплуатация экскаваторов циклического действия.....	76
2.2.4. Эксплуатация экскаваторов непрерывного действия....	78
2.2.5. Эксплуатация транспортно-отвальных мостов и отвалообразователей.....	79
2.2.6. Эксплуатация средств гидромеханизации.....	80
2.2.7. Эксплуатация водоотливных установок.....	83
3. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ СМАЗКИ МАШИН.....	85
3.1. Смазочные материалы.....	85
3.1.1. Масла.....	85
3.1.2. Пластичные и твердые смазки.....	93

3.2. Системы смазки.....	100
3.2.1. Классификация систем смазки.....	100
3.2.2. Расчет систем смазки.....	105
4. РАЗРУШЕНИЕ И ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН.....	114
4.1. Виды разрушения и износа деталей и узлов.....	114
4.1.1. Общие сведения о разрушении.....	114
4.1.2. Общие сведения об изнашивании.....	115
4.2. Трение и механическое изнашивание.....	116
4.2.1. Механическое изнашивание (износ).....	116
4.2.2. Виды трения и интенсивность изнашивания.....	118
4.3. Изнашивание и расчет срока службы основных деталей и узлов	119
4.3.1. Изнашивание подшипников и расчет их срока службы	121
4.3.2. Изнашивание зубчатых колес и расчет их срока службы	125
4.3.3. Изнашивание поршней и цилиндров.....	126
4.3.4. Изнашивание резьбовых и шлицевых соединений.....	128
5. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА.....	130
5.1. Основные методы измерения и контроля изнашивания деталей и механизмов.....	130
5.1.1. Методы измерения изнашивания деталей и механизмов	131
5.1.2. Основные методы контроля изнашивания деталей и механизмов.....	132
5.2. Обеспечение качества неразрушающего контроля и диагностики.....	136
5.2.1. Система стандартизации НК и Д.....	136
5.2.2. Экспертные системы.....	140
5.3. Средства неразрушающего контроля и диагностики.....	144
5.3.1. Общая характеристика средств НК и Д.....	144
5.3.2. Контролируемые параметры и дефекты.....	147
5.4. Радиационный контроль.....	152
5.4.1. Общие сведения.....	152
5.4.2. Основные методы РК.....	154
5.5. Магнитные методы и средства контроля.....	156
5.5.1. Общие сведения.....	156
5.5.2. Магнитные дефектоскопы.....	157
5.6. Методы и средства акустико-эмиссионной диагностики.....	159
5.6.1. Общие сведения.....	159
5.6.2. Применение метода АЭ при диагностике производственных объектов.....	162
5.7. Вихретоковые методы контроля.....	164
5.7.1. Общие сведения.....	164

5.7.2. Классификация и применение вихретоковых преобразователей.....	166
5.8. Радиоволновые и электрические методы контроля.....	173
5.8.1. Радиоволновый контроль.....	173
5.8.2. Электрические методы контроля.....	175
6. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	181
6.1. Системы и методы технического обслуживания и ремонта...	182
6.1.1. Система планово-предупредительных ремонтов.....	183
6.2. Организация и проведение ремонтов.....	194
6.2.1. Основы организации ремонтов.....	194
6.2.2. Планирование ремонтов.....	198
6.2.3. Передача оборудования в ремонт и приемка его после ремонта.....	201
6.2.4. Оценка качества ремонтных работ.....	201
6.3. Технологические процессы ремонта деталей и узлов горной техники.....	202
6.3.1. Критерии оценки методов восстановления.....	202
6.3.2. Основные способы восстановления.....	204
6.4. Обеспечение запасными частями.....	217
6.4.1. Общие сведения.....	217
6.4.2. Расчет потребности в запасных частях.....	218
6.5. Повышение износостойкости деталей.....	225
6.5.1. Основные сведения о методах упрочнения деталей....	226
6.5.2. Методы упрочнения деталей.....	230
6.6. Балансировка деталей и узлов.....	249
6.6.1. Виды неуравновешенности.....	249
6.6.2. Методы балансировки.....	251
6.7. Организация службы главного механика горного предприятия.....	258
6.7.1. Управление механической службой.....	258
6.7.2. Организация работы конструкторского бюро.....	260
6.7.3. Организация смазочного хозяйства.....	263
6.7.4. Финансирование ремонтных работ.....	265
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	267
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	268

Учебное издание

**Гилёв Анатолий Владимирович
Чесноков Валерий Тимофеевич
Лаврова Наталья Борисовна
Хомич Людмила Викторовна
Гилева Наталья Николаевна
Коростовенко Лариса Петровна**

**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГОРНЫХ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ**

Учебное пособие

Редактор Л. Х. Бочкарева
Компьютерная верстка Н. Г. Дербеновой

Подписано в печать 11.04.2011. Печать плоская. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16,04. Тираж 100 экз. Заказ № 3410

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Отпечатано полиграфическим центром
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а