

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации
и переподготовки

Кафедра «Электроснабжение»

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для слушателей специальности переподготовки
1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание
энергооборудования организаций»
заочной формы обучения**

Гомель 2022

УДК 620.22:620.9(075.8)
ББК 30.3+31.1я73
О-75

*Рекомендовано кафедрой «Электроснабжение»
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 12 от 06.05.2022 г.)*

Составитель *С. Н. Бобрышева*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *А. О. Добродей*

О-75 **Основы** материаловедения в энергетике : учеб.-метод. пособие для слушателей специальности переподготовки 1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание энергооборудования организаций» заоч. формы обучения / сост. С. Н. Бобрышева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 100 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

В учебно-методическом пособии представлен курс лекций по дисциплине «Основы материаловедения в энергетике». Рассматриваются теоретические основы материаловедения. Дана современная классификация материалов энергетического назначения. Особое внимание уделено их физико-химическим, механическим, технологическим и эксплуатационным свойствам, а также методам их контроля. Приведены сведения об основных направлениях в разработке материалов будущего с уникальными свойствами.

Объем и последовательность изложения материала соответствуют программе курса для слушателей ИПКиП по специальности переподготовки 1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание энергооборудования организаций».

Пособие может быть использовано специалистами предприятий энергетики и студентами энергетических специальностей.

УДК 620.22:620.9(075.8)
ББК 30.3+31.1я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2022

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие свойств материалов является главным фактором, предопределяющим их широкое применение. Ассортимент материалов, диапазон их свойств стремительно расширяется, отвечая растущим потребностям человека, техники, промышленности. В связи с этим материаловедение как наука занимается изучением строения материалов, состава, структуры, свойств, изменением их поведения при воздействии окружающей среды, различных тепловых, электрических, магнитных факторов.

Материалы отличаются друг от друга свойствами, обусловленными особенностями внутреннего их строения. Основные свойства материалов можно подразделить на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные. Причем, последние категория свойств зависит от предыдущих. Понятно, что свойства, которые проявляют материалы при их использовании, должны обеспечивать их эффективность, надежность и безаварийность. И, если свойства материалов закладываются на этапе разработки состава, то поддержание их в заданном диапазоне требует соблюдения правил эксплуатации, контроля параметров, проведения регулярной диагностики. Диагностика – это, прежде всего, проверка механических повреждений материалов и конструкций, а затем соответствия их технических характеристик требуемым в соответствии с нормативными актами. Результатом диагностики может быть либо дальнейшая безаварийная эксплуатация, либо активные действия по устранению негативных факторов, неправильной эксплуатации и др. Иногда в результате диагностики обнаруживаются ошибки проектировщиков и конструкторов в выборе материала и конструктивных параметров.

Для эксплуатационной диагностики, важна, прежде всего, высокая квалификация персонала, производящего диагностику. А это в том числе и знания в области материаловедения.

Тема 1. Основы материаловедения в энергетике

1.1. Основные понятия о строении материалов

Материал - это объект обладающий определенным составом, структурой и свойствами, предназначенный для выполнения определенных функций.

Материаловедение - наука, занимающаяся изучением состава, структуры, свойств материалов, поведением материалов при различных воздействиях: тепловых, электрических, магнитных и т.д., а также при сочетании этих воздействий. В данном курсе - это раздел материаловедения, который занимается материалами для электротехники и энергетики, т.е. материалами, обладающими специфическими свойствами, необходимыми для конструирования, производства и эксплуатации электротехнического оборудования. Ряд материалов традиционны для любого из разделов материаловедения, в первую очередь, это конструкционные материалы. Основные материалы, рассматриваемые здесь специфичны именно для электротехнического раздела материаловедения, это в первую очередь диэлектрические материалы, затем проводниковые материалы, магнитные материалы, материалы для резисторов.

Строение веществ зависит от агрегатного состояния.

Известны следующие виды агрегатного состояния веществ:

- газы;
- жидкости;
- жидко-кристаллические вещества;
- твердые вещества;
- плазма.

В газообразном состоянии:

- молекулы находятся друг от друга на значительных расстояниях;
- занимают очень малую долю объема;
- при высоких давлениях и температурах молекулы в газообразном состоянии практически не взаимодействуют друг с другом;
- структура вещества не упорядочена;
- молекулы всегда находятся в состоянии хаотического движения;
- силы сцепления между молекулами практически отсутствуют;

- газ всегда занимает весь предоставленный ему объем.

В жидком состоянии:

- расстояние между частицами намного больше, чем в твердом, но и намного меньше, чем в газообразном;
- частицы занимают основную часть объема;
- постоянно соприкасаются друг с другом и притягиваются друг к другу;
- наблюдается некоторая упорядоченность частиц;
- частицы подвижны относительно друг друга;
- кинетическая и потенциальная энергия частиц приблизительно одинаковы;
- частицы связаны друг с другом, но не жестко;
- текучи, но имеют постоянный при данной температуре объем.

Жидкое состояние является промежуточным между газообразным и кристаллическим.

В твердом состоянии:

- частицы максимально сближены друг с другом;
- возникают прочные связи;
- практически отсутствует движение частиц относительно друг друга;
- существует высокая упорядоченность структуры.

На рис.1.1. представлены примеры веществ в основных агрегатных состояниях.



Рис. 1.1. Различные агрегатные состояния веществ

Плазма - это полностью или частично ионизированный газ, который содержит ионы и электроны практически в одинаковых количествах, в результате суммарный заряд системы очень мал. Плазма – электрически нейтральная область, состоящая из ионов и электронов (рис.1.2)



Рис. 1.2. Плазма и ее практическое применение

Жидкие кристаллы — это вещества, обладающие одновременно свойствами жидкостей и кристаллов. По своим механическим свойствам они напоминают жидкости, то есть могут течь и принимать форму сосуда, в котором находятся; при этом их вязкость колеблется от консистенции жидкого клея до твердого студня. А основные физические свойства жидких кристаллов (оптические, электрические, магнитные и др.), как и у твердых кристаллических веществ, зависят от направления, в котором производится их измерение. Применение жидких кристаллов представлено на рис.1.3.



Рис. 1.3. Виды жидких кристаллов в зависимости от структуры и их применение

Так как основными материалами в энергетике являются твердые (в том числе и конструкционные материалы), то в настоящем методическом пособии им будет уделено основное внимание.

Все твёрдые тела делятся на аморфные и кристаллические.

В аморфных телах атомы расположены хаотично, т.е. в беспорядке, без всякой системы, поэтому тела при нагреве размягчаются в большом температурном интервале, становятся вязкими, а затем переходят в жидкое состояние. При охлаждении процесс идет в обратном направлении. Примерами аморфных тел могут служить стекло, клей, воск, канифоль, т.е. аморфное строение присуще в основном неметаллам.

В кристаллических телах атомы расположены в строго определённой последовательности. Тела остаются твердыми, т.е. сохраняют приданную им форму до определенной температуры, при которой они переходят в жидкое состояние. При охлаждении процесс идет в обратном направлении. Переход из одного состояния в другое протекает при определенной температуре плавления. К телам с кристаллическим строением относят поваренную соль, кварц, сахарный песок, металлы и сплавы.

Идеальная кристаллическая решетка представляет собой многократное повторение элементарных кристаллических ячеек.

Кристалл состоит из атомов, ионов, молекул, расположенных в определенном порядке, который периодически повторяется в трех измерениях. Наименьший комплекс частиц, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решётку, называют

элементарной ячейкой. Для упрощения пространственное изображение принято заменять схемами, где центры тяжести частиц представлены точками. В точках пересечения прямых линий располагаются атомы; они называются узлами решетки. Расстояния между центрами частиц, находящихся в соседних узлах решетки, называют параметрами, или периодами решетки (рис.1.4).

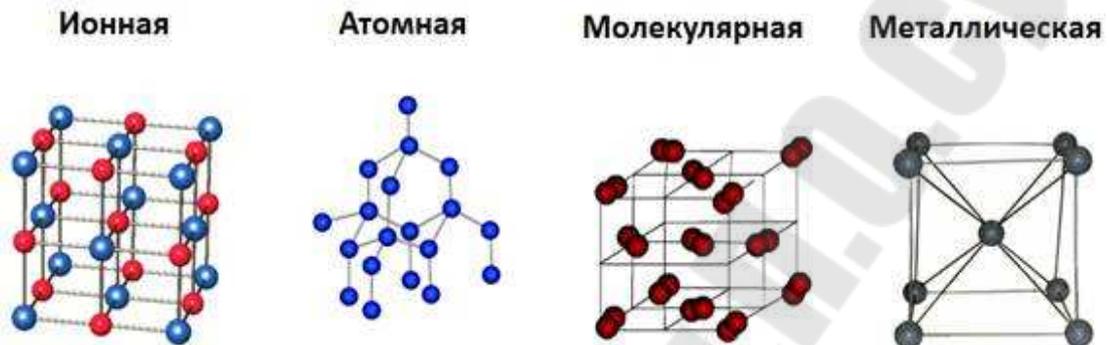


Рис. 1.4. Виды кристаллических решеток

Однако в строении кристаллических решеток существуют дефекты. Различают три типа дефектов кристаллического строения: точечные, линейные и поверхностные.

- *Точечные* - малые размеры (нескольких атомных диаметров) (свободные места в узлах кристаллической решетки - вакансии (дефекты Шоттки), атомы, сместившиеся из узлов кристаллической решетки в межузельные промежутки - дислоцированные атомы (дефекты Френкеля), атомы других элементов, находящиеся как в узлах, так и в междоузлиях кристаллической решетки - примесные атомы.

- *Линейные* дефекты - малые размерами в двух измерениях, но имеют значительную протяженность в третьем измерении. Наиболее важный вид линейных дефектов - дислокации (лат. dislocation - смещение).

- *Поверхностные* дефекты имеют малую толщину и значительные размеры в двух других измерениях. Обычно это места стыка двух ориентированных участков кристаллической решетки. Ими могут быть границы зерен, границы фрагментов внутри зерна, границы блоков внутри фрагментов (рис.1.5).

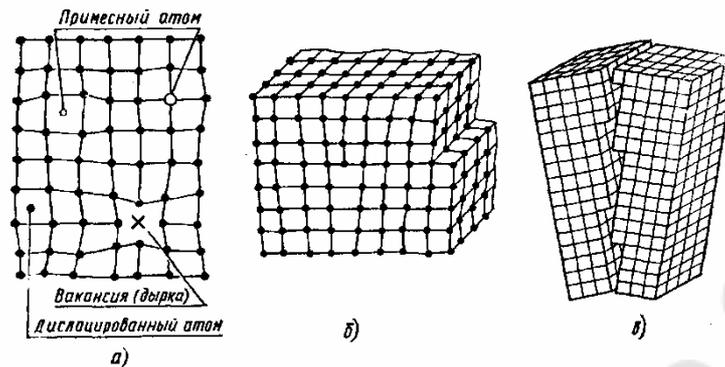


Рис.1.5. Дефекты кристаллических решеток: а – точечные; б – линейные; в – двухмерные (плоскостные)

От строения и дефектов напрямую зависят свойства твердых материалов.

1.2. Физико-механические и химические свойства материалов.

Основными характеристиками материалов в энергетике являются:

- электропроводность или обратная величина – сопротивление;
- плотность;
- механическая прочность при различных нагрузках;
- теплоемкость;
- теплопроводность.

Для диэлектрических материалов наиболее важны:

- удельное электрическое сопротивление;
- диэлектрическая проницаемость;
- диэлектрические потери;
- электрическая прочность.

Электропроводность — способность тела (среды) проводить электрический ток, свойство тела или среды, определяющее возникновение в них электрического тока под воздействием электрического поля. Электропроводность среды (вещества, материала) связана со способностью заряженных частиц (электронов, ионов), содержащихся в этой среде, достаточно свободно перемещаться в ней.

Электрическое сопротивление — физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению

электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему. Электрическим сопротивлением называется свойство тела или среды превращать электрическую энергию в тепловую при прохождении по нему электрического тока.

Плотность материала— скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объёму.

Прочность - свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих под воздействием внешних сил. Свойство конструкции выполнять назначение, не разрушаясь в течение заданного времени.

Теплопроводность – способность материала проводить тепловой поток через свою толщину при наличии разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Показателем теплопроводности является коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м·К)). Иногда теплопроводность выражают величиной, обратной λ ,— термическим сопротивлением ($R = 1 / \lambda$).

Теплоемкость – свойство материала поглощать тепло при нагревании и отдавать при охлаждении. Отношение теплоемкости к единице количества материала (по массе или объему) называется удельной теплоемкостью, которая численно равна количеству тепла (в Дж), необходимому для нагревания 1 кг материала на 1 °С.

Удельное электрическое сопротивление или просто удельное сопротивление вещества — физическая величина, характеризующая способность вещества препятствовать прохождению электрического тока. Удельное сопротивление обозначается греческой буквой ρ . Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной проводимостью (удельной электропроводностью). В отличие от электрического сопротивления, являющегося свойством проводника и зависящего от его материала, формы и размеров, удельное электрическое сопротивление является свойством только вещества.

1.3. Конструкционные материалы. Металлы, сплавы, композиционные и керамические материалы, применяемые при изготовлении энергооборудования, их классификация и свойства.

Металлические материалы.

К ним относятся все металлы и их сплавы. Среди них можно выделить несколько групп, отличающихся друг от друга по свойствам:

- черные металлы. Это железо и сплавы на его основе – стали и чугуны;
- цветные металлы. В эту группу входят металлы и их сплавы, такие как медь, алюминий, титан, никель и др.;
- благородные металлы. К ним относятся золото, серебро, платина;
- редкоземельные металлы. Это лантан, неодим, празеодим.

Неметаллические материалы.

- пластмассы - материалы на основе высокомолекулярных соединений – полимеров, как правило, с наполнителями;
- керамические материалы (керамика). Основой этих материалов являются порошки тугоплавких соединений типа карбидов, боридов, нитридов и оксидов (TiC, SiC, Cr₇C₃, CrB, Ni₃B, TiB₂, BN, TiN, Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂ и др.);
- металлокерамические материалы (металлокерамика). Основа керамика, в которую добавляется некоторое количество металла, являющегося связкой и обеспечивающего такие свойства, как пластичность и вязкость;
- стекло - система, состоящую из оксидов различных элементов, в первую очередь оксида кремния SiO₂;
- резина - материал на основе каучука - углеродноводородного полимера с добавлением серы и других элементов;
- дерево - сложная органическая ткань древесных растений.

Характеристики металлов по их физическим свойствам:

- металлический блеск;
- агрегатное состояние – твердое (кроме ртути);
- по цвету разделяют: черные металлы и цветные металлы;
- у многих большая электро -и теплопроводность – т.е. металлы – хорошие проводники электрического тока;
- они многие пластичные, ковкие (меняют свою форму);
- имеют разные температуры плавления: разделяют легкоплавкие и тугоплавкие металлы;
- металлы по плотности бывают легкие и тяжелые;

- металлы могут быть мягкими (например - калий, литий, натрий – они режутся ножом и твердыми (например - хром, которым можно резать стекло).

Самый легкий металл – литий.

Самые тяжелые металлы - осмий и иридий.

Самый твердый металл – хром, также твердые - ванадий и вольфрам.

Самые тугоплавкие металлы - вольфрам и рений.

Самый распространенный на земном шаре— алюминий.

Самые электропроводные – серебро, медь и алюминий.

Самые пластичные – золото, серебро и медь.

Сплавы металлов – твердые растворы, полученные при смешении одних металлов с другими или с неметаллами для придания определенных свойств.

Сплавы на основе железа – черные сплавы (чугун и сталь).

Сплавы на основе других металлов – цветные сплавы

Сплавы меди: бронза, латунь, мельхиор

Сплав алюминия – дюраль

Сплавы ртути – амальгамы

Сплав Вуда – на основе висмута и свинца

Для получения чистых металлов и дальнейшего их применения необходимо выделить их из руд и провести очистку. При необходимости проводят легирование и другую обработку металлов.

Легирование (от лат. *ligo* - связываю, соединяю) - введение добавок в металлы, сплавы для придания им определенных физических, химических или механических свойств. Изучением этого занимается наука металлургия. Металлургия различает руды чёрных металлов (на основе железа) и цветных (в их состав не входит железо, всего около 70 элементов).

Получение металлов.

Существуют три основных промышленных способа получения металлов:

Пирометаллургия - получение металлов при высокой температуре, сначала обжиг руды, а затем плавка (восстановление металлов из их оксидов).

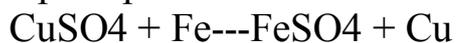
Пример:



Гидрометаллургия - получение металлов из растворов их солей:

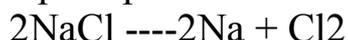
восстановление более активным металлом

Пример:



Электрометаллургия - получение металлов при использовании электрического тока: электролиз расплавов (для получения очень активных металлов)

Пример:



Металлы и сплавы для изготовления энергооборудования.

Основными характеристиками материалов являются электропроводность или обратная величина - сопротивление, плотность, механическая прочность при различных нагрузках, теплоемкость, теплопроводность. Для диэлектрических материалов наиболее важны удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, электрическая прочность.

Чистые металлы являются проводниками и используют для изготовления различного рода проводов: обмоточных, установочных, монтажных, кабелей, фольги (рис.1.6).



Рис. 1.6. Медные провода и фольга

Проводниковые сплавы чаще всего применяют в виде проволок и лент в резисторах, добавочных сопротивлениях, потенциометрах. Проводниковые материалы делятся на материалы высокой проводимости и материалы высокого сопротивления.

К особой группе проводниковых материалов относится электротехнический уголь, широко применяемый в электротехнике (рис.1.7).



Рис. 1.7. Электротехнический уголь и угольные электроды

В последнее время особый интерес вызывают сверхпроводники и гиперпроводники — материалы, обладающие чрезвычайно малым удельным сопротивлением при весьма низких (криогенных) температурах, но это материалы будущего.

Традиционные конструкционные материалы — металлы — актуальны уже более 3 000 лет. Полимерные композиты на основе технических волокон появились всего 50 лет назад. Однако благодаря уникальным характеристикам, легкому весу и высокой прочности, а также стойкости к кислым средам они уже конкурируют с традиционными материалами в стратегических отраслях промышленности, в том числе и энергетике.

Композиционные материалы - материалы, состоящие из нескольких компонент, выполняющих разные функции, причем между компонентами существуют границы раздела.

Примеры композиционных материалов - стеклопластик (стержни и трубы), стеклотекстолит листовой, материалы для контактов (смеси электропроводного и тугоплавкого металлов). Сочетание двух или более материалов позволяет использовать сильные стороны каждого из материалов. При этом свойства композита, далеко не всегда являются промежуточными между свойствами компонентов. В ряде случаев улучшаются характеристики, либо появляется материал с принципиально новыми характеристиками, например, стеклопластик. Он состоит из волокон стекловолокна, пропитанных полимером, обычно эпоксидным полимером. Основное достоинство этого материала - высокая механическая прочность. Прочность эпоксидного компаунда недостаточно велика, этот материал достаточно хрупок. Прочность стеклянного волокна - значительна, но у него хрупкость также

значительна. После пропитки волокон и последующей полимеризации прочность стеклопластикового стержня на разрыв не уступает прочности волокон, тогда как хрупкость у стержней в принципе отсутствует.

Применение композиционных материалов в энергетике - это изоляционные конструкции из различных видов композиционных материалов на основе разнообразных связующих и армирующих волокнистых материалов - от подвесных изоляторов до изоляционных корпусов всевозможного высоковольтного оборудования. При необходимости такие конструкции защищаются от внешнего атмосферного воздействия силиконовыми покрытиями, позволяющими одновременно увеличивать длину пути утечки по внешней поверхности изделия.

Такие конструкции, несмотря на более высокую стоимость изделий, обладают целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными аналогами из фарфора или стекла, в том числе:

- существенно меньший вес, а значит и затратами как на транспортировку, монтаж и эксплуатацию, так и на соответствующие узлы крепления этих конструкций; повышенная надежность эксплуатации (в районах с экстремальными климатическими условиями, с высоким уровнем загрязнения; механическая прочность (в полимерной изоляции в процессе старения не возникают внутренние микротрещины), высокой взрывобезопасностью;
- отсутствие повреждений при транспортировке и монтажных работах – для фарфора эти потери составляют не менее 2%, в том числе и на готовых аппаратах; - высокой «вандалоустойчивостью».

Керамические композиционные материалы (ККМ) представляют собой материалы, в которых матрица состоит из керамики, а арматура - из металлических или неметаллических, волокнистых наполнителей. Армированные волокнами материалы на основе порошковых комбинированных матриц, в которые входят тугоплавкие неметаллические частицы и металл – связка.

Интересными и перспективными направлениями использования керамики являются: магнитные подшипники, допускающие скорость вращения до 100 тыс.об/мин; гистерезисные электродвигатели с

удельной мощностью в 5 - 7 раз выше, чем у обычных двигателей; транспорт на магнитной подушке.

Тема 2.Электротехнические материалы

2.1. Диэлектрические, полупроводниковые, проводниковые и сверхпроводниковые материалы.

Диэлектрические материалы - вещества, материалы относительно плохо проводящее электрический ток. Диэлектриками называются материалы, в которых длительно могут существовать электростатические поля и основным свойством которых является способность к поляризации (рис.2.1).

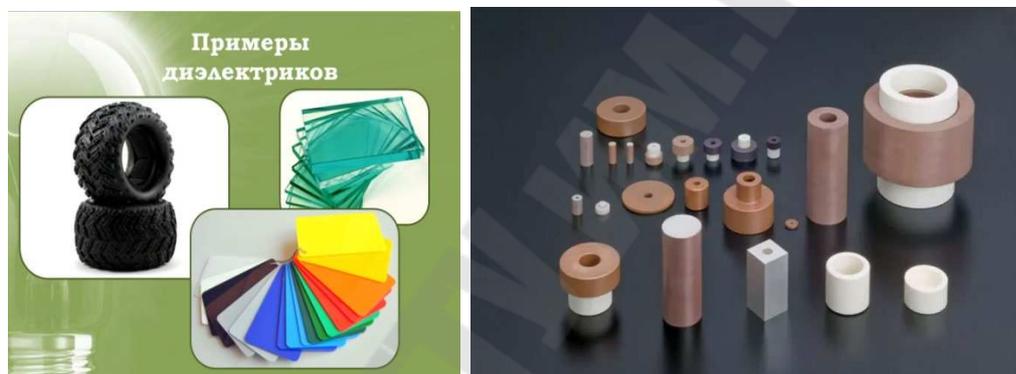


Рис. 2.1. Примеры диэлектриков

Классификации диэлектрических материалов.

- по функциям которые диэлектрические материалы выполняют в приборах и устройствах, а также по воздействию, оказываемому на них внешними факторами:

- пассивные диэлектрики;
- активные диэлектрики.

- по агрегатному состоянию:

- газообразные;
- жидкие;
- твердые;
- твердеющие материалы.

- по химическому составу:

- органические;
- неорганические;
- элементоорганические.

Основными свойствами, определяющими применение диэлектриков в электро- и радиотехнической аппаратуре, являются их изолирующие качества, а также способность создавать электрическую емкость за счет существования внутреннего электрического поля, то есть поляризации.

Для выполнения функции электрической изоляции диэлектрические материалы должны препятствовать прохождению электрического тока путями, нежелательными для работы прибора. С этой точки зрения основной характеристикой диэлектриков является величина удельной электропроводности или удельного сопротивления.

К диэлектрикам относятся:

- органические материалы (синтетические смолы, каучуки, волокнистые материалы);
- неорганические материалы (стекла, керамика);
- синтетическими материалы - полимеры, пластические массы, синтетические смолы;
- искусственные материалы (целлофан, бумага, вискоза, ацетат).

Широкое практическое применение нашли диэлектрические материалы в твердом, жидком и газообразном состояниях, а также в виде плазмы (при пробое газа).

Существует также множество композиционных материалов самого разнообразного состава, включающие в себя как синтетические, так и искусственные компоненты (целлулоид, слоистые пластики, фенопласты, аминопласты).

Диэлектрические материалы в твердом состоянии:

- синтетические смолы (пластмассы, полимеры); эластомеры;
- волокнистые материалы;
- слоистые пластики;
- стекла;
- керамика;
- природные неорганические диэлектрики.

Пластические массы - термопластичные неполярные диэлектрики, характеризуются высокими изолирующими свойствами: $\rho \approx 10^{14}$ Ом·м (рис.2.2).

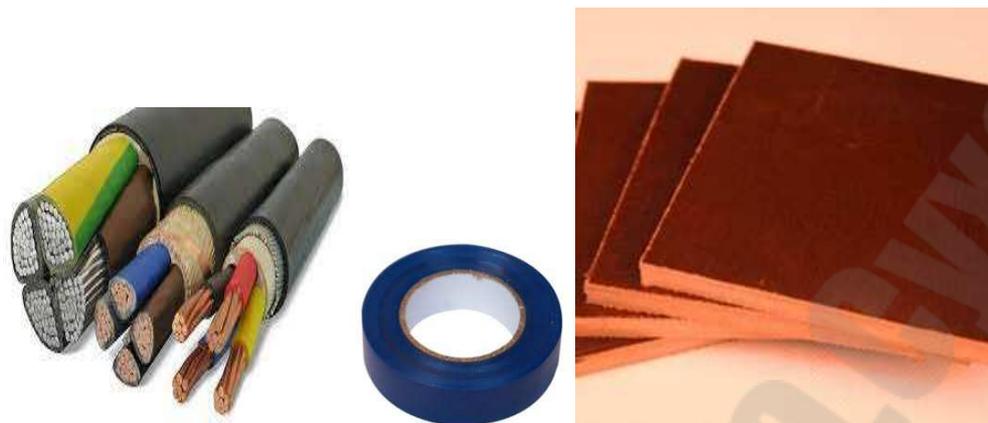


Рис. 2.2. Полимерные диэлектрики

Полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) применяют для изоляции радиочастотных, телефонных и силовых кабелей.

Полистирол (ПС) используются для изготовления конструктивных элементов радиоэлектронной аппаратуры.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) По электроизоляционным свойствам принадлежит к лучшим из известных диэлектриков: удельное сопротивление $\rho \approx 10^{16}$ Ом·м; незаменимым для электрической изоляции в наиболее ответственных случаях, создания емкости пленочных конденсаторов при применении на высоких и сверхвысоких частотах.

Поливинилхлорид (ПВХ) стоек к действию воды, щелочей, разбавленных кислот, масел, бензина и спирта, широко применяются для изоляции проводов, защитных оболочек кабелей, аккумуляторных баков и т.п.

Полиакрилаты (оргстекло) диэлектрические свойства: $\rho = 10^{11} - 10^{12}$ Ом·м, применяется как конструкционный материал для изготовления прозрачных деталей аппаратуры, защитных стекол в бестеневых светильниках.

Полиуретаны используются для эмалирования проводов. Недостатком является склонность к размягчению эмалевой пленки при температурах выше 150 °С.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) или лавсан применяется для изготовления синтетических волокон, гибких пленок, изоляции эмалированных проводов и т.п.

Термореактивные пластмассы содержат связующую основу (смолы, эфиры), наполнители (древесная мука, асбест, бумага), пластификаторы (спирт, глицерин), красители.

Из термоактивных пластмасс широко применяются фенопласты и аминопласты, отличающиеся сравнительно высокой химической стойкостью.

Фенопласты и аминопласты широко используют для изготовления деталей аппаратов и приборов. Диэлектрические свойства фено- и аминопластов характеризуются следующими диэлектрическими параметрами: $\rho = 10^{11}-10^{12}$ Ом·м.

Эластомеры. Эластичные изделия получают на основе натурального или синтетических каучуков, которые являются основным компонентом резины. Для обычных электроизоляционных резин $\rho \approx 10^{13}$ Ом·м. Резина на основе натурального каучука имеет ряд недостатков: низкую нагревостойкость (при нагреве резина стареет, становится хрупкой и трескается); малую стойкость к действию растворителей (бензола, бензина, ацетона), малую стойкость к действию света, особенно ультрафиолетового, под влиянием которого резина быстро стареет. Резину широко применяют для изоляции установочных и монтажных проводов и кабелей, изготовления защитных перчаток, галош, ковриков, изоляционных трубок.

Материалы на основе волокон. Большая часть волокнистых материалов относится к органическим веществам. К ним принадлежат материалы растительного происхождения (дерево, хлопчатобумажное волокно, бумага и пр.) и животного происхождения (шелк, шерсть), искусственные и синтетические волокна (рис.2.3.).



Рис. 2.3. Виды волокнистых электроизоляционных материалов

К материалам на основе волокон относятся бумага, картон, ткани. Электроизоляционные параметры материалов на основе волокон: $\rho = 10^6-10^8$ Ом·м. Для электрической изоляции их

применяют в пропитанном состоянии (бумага, пропитанная конденсаторным маслом или лаком; ткань, пропитанная лаком (лакоткань)). В тех случаях, когда требуется высокая рабочая температура изоляции, которую органические волокнистые материалы обеспечить не могут, применяют неорганические материалы, в частности стеклянное волокно и асбест.

Слоистые пластики. Слоистые пластики относятся к терморезистивным материалам. Они представляют собой пластмассы, в которых наполнителем является листовой волокнистый материал (бумага, ткань, нетканый материал) с параллельно расположенными слоями, что определяет анизотропию их свойств. В зависимости от химической природы связующего и наполнителя электрические свойства электроизоляционных слоистых пластиков могут изменяться в широких пределах $\rho = 10^8 - 10^{14}$ Ом·м. Слоистые пластики обладают высоким уровнем механических свойств, могут длительно эксплуатироваться при температурах до 180 °С. Наиболее распространенные слоистые пластики – гетинакс (изготовления печатных плат для схем низкочастотных устройств радиоэлектроники) и текстолит (применяют в изделиях, подвергающихся ударным нагрузкам или истиранию - детали переключателей (рис.2.4).



Рис. 2.4. Гетинакс и текстолит

Неорганические стекла. По химическому составу стекла обычно представляют собой сложные системы окислов. Наиболее распространенными техническими стеклами являются силикатные на основе SiO_2 . Стекла подразделяются на 1) щелочные (оконные, бутылочные и т.п.), содержащие окислы натрия и калия; 2) щелочные с высоким содержанием окислов тяжелых металлов (PbO , BaO);

стекла с большим содержанием PbO называют флинтами, а с большим содержанием BaO – кронами; 3) бесщелочные – кварцевое стекло, представляющее собой чистую двуокись кремния SiO₂. Последние два вида используют в качестве электроизоляционных и оптических стекол. У них высокие значения ρ для кварцевого стекла = 10¹⁵ Ом·м.

В зависимости от назначения различают несколько основных видов электротехнических стекол: электровакуумные; изоляторные; конденсаторные; стеклоэмали; стекловолокна.

Стекла.

Электровакуумные используют для изготовления баллонов и ножек осветительных ламп, различных электронных приборов. Требование к таким стеклам – очень близкие коэффициенты термического расширения у спаиваемых друг с другом стекла и металла (рис.2.5).

Применение стекла и материалов на основе стекла



Рис. 2.5. Электроизоляционное стекло

Изоляторные стекла используют в производстве изоляторов: линейных, в том числе штыревых и подвесных, станционных — опорных и проходных, телеграфных, антенных. Электрическая емкость стеклянных изоляторов, и в частности подвесных, больше, чем фарфоровых. Изоляторные стекла широко используют также в качестве герметизированных вводов в некоторых типах конденсаторов, терморезисторов, в кремниевых и германиевых транзисторах и др.

Конденсаторные стекла служат для изготовления электрических конденсаторов, используемых в импульсных генераторах и в качестве высоковольтных фильтров.

Стеклоэмали это стекловидные покрытия (стекла), наносимые на поверхности металлических и керамических изделий с целью создания электрической изоляции, защиты от воздействия влаги, коррозии, а также для придания определенной окраски и улучшения внешнего вида.

Стекловолокно получают из расплава стекла, чаще из бесщелочного алюмоборосиликатного. Это стекло обладает лучшими электрическими характеристиками, большей химостойкостью и большей (на 20—25 %) механической прочностью при растяжении, чем щелочные алюмосиликатные стекла. Образующиеся тонкие (4—7 мкм) волокна используют для изготовления изоляции монтажных и обмоточных проводов, микропроводов, стеклянных тканей (и лент), используемых в производстве нагревостойких стеклолакотканей и стеклотекстолитов. Применяют стекловолокно для изделий волоконной оптики — световодов, которые в настоящее время широко используют в качестве оптоволоконных кабелей в вычислительной технике и в электрической связи.

Керамические диэлектрики. Керамические материалы (фарфор и фаянс) получают в результате обжига при высокой температуре смеси, приготовленной из глины с добавлением кварца (песка) и полевого шпата.

Электрофарфор, широко применяется для изготовления изоляторов: штыревых и подвесных, опорных и проходных, а также различных установочных деталей (розеток, вилок, ламповых патронов и т.п.) (рис.2.6).



Рис. 2.6. Виды изоляторов

В отличие от других видов керамики электрофарфор обладает более низкими электрическими и механическими свойствами. Преимущества состоят в возможности изготавливать изделия сложной конфигурации, используя простые технологические процессы и малоедефицитное сырье.

Радиофарфор представляет собой фарфор, стекловидная фаза которого облагорожена введением в нее тяжелого оксида ВаО, применяется для изготовления изоляторов и изоляционных деталей высокочастотных установок при умеренных частотах.

Природные неорганические диэлектрики.

Слюда обладает высокими электроизоляционными свойствами, нагревостойкостью, механической прочностью, гибкостью. В тонких слоях многие виды слюды прозрачны. Конденсаторная слюда применяется в радиоэлектронике – прямоугольные пластинки, в качестве диэлектрика в слюдяных конденсаторах. Телевизионная слюда – пластинки, образующие диэлектрическую основу фотокатодов и мишеней в передающих телевизионных трубках. Слюдяные детали для электронных приборов – штампованные фасованные детали, служащие для крепления и электрической изоляции внутренней арматуры в электронных приборах (рис.2.7).



Рис.2.7. Слюдяные прокладки – изоляторы

Асбест – неорганический природный волокнистый материал. Уникальный, непревзойденный материал. Природное волокно, «горный лен» (рис.2.8).



Рис. 2.8. Асбест

Является огнестойким диэлектриком. Использовалось во множестве применений, начиная от армирующей добавки в полимеры, заканчивая изоляцией нагревательных приборов. Выпускается в виде листов, нити, пряжи. Чаще всего используется именно как теплоизолятор, как диэлектрик только в установках невысокого (до 1 кВ) напряжения. Асбестовые электроизоляционные материалы применяют главным образом для высокотемпературной электроизоляции, а также теплоизоляции.

Проводниковые материалы. Природа проводимости и основные характеристики проводниковых материалов.

Из проводниковых материалов - твердых тел, жидкостей и газов в электротехнике наиболее часто применяют металлы и сплавы. Согласно классической теории (Друде, Лорентц) металлы можно рассматривать как кристаллический остов, состоящий из положительных ионов, погруженный в среду из свободных коллективизированных электронов, называемую "электронным газом" или "электронной жидкостью". Наличие свободных делокализованных электронов обуславливает высокую пластичность, характерный блеск металлов, высокую электро- и теплопроводность. Если к проводнику приложить внешнее напряжение, то свободные электроны, совершающие тепловые колебания со средней скоростью порядка 10^5 м/с, приобретут некоторую добавочную скорость направленного движения (несколько мм в секунду), что вызывает протекание электрического тока.

Классификация проводниковых материалов дана на рис.2.9.

Классификация проводниковых материалов

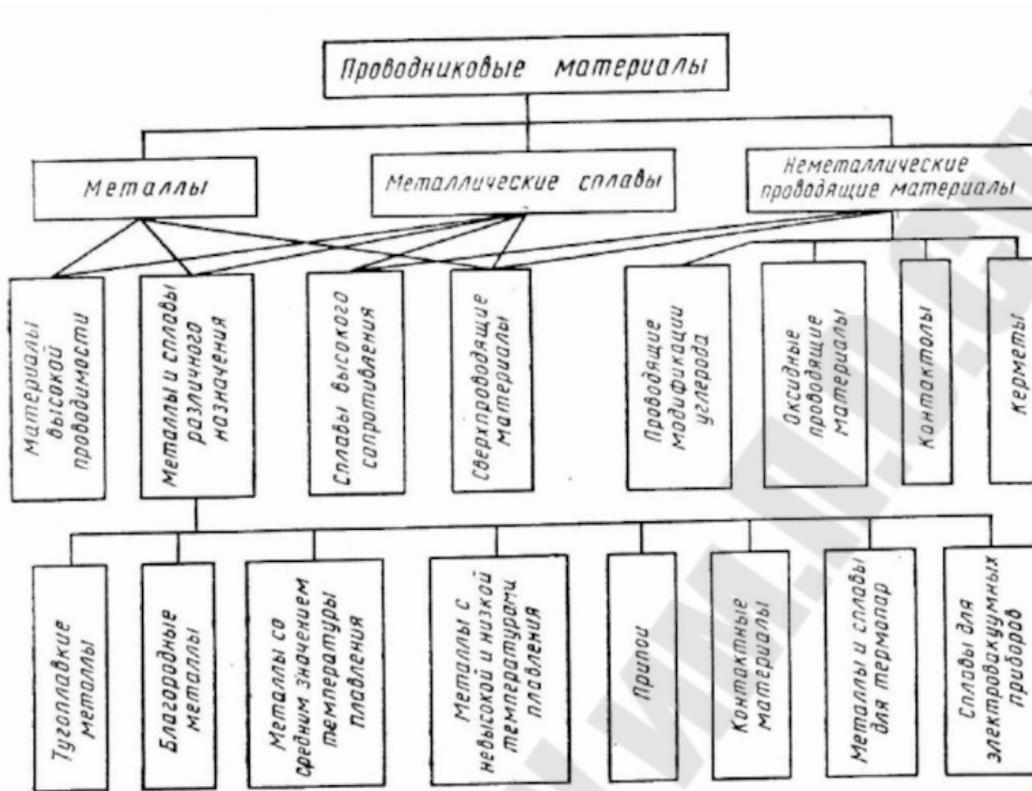


Рис. 2.9. Классификация проводниковых материалов

Проводниковые материалы в зависимости от величины удельного сопротивления и применения подразделяют на следующие группы:

- металлы и сплавы высокой проводимости;
- сплавы с повышенным и высоким удельным сопротивлением;
- жаростойкие проводящие материалы;
- криопроводники;
- сверхпроводники;
- припои.

Проводниковые материалы кроме высокой удельной проводимости (малого удельного сопротивления) должны иметь достаточную прочность, хорошие технологические свойства, коррозионную стойкость, хорошо свариваться и подвергаться пайке. Практическое применение находят химические чистые металлы Cu, Al, Ag, Au, Sn, Re, Pd, Bi и другие, используемые в качестве проводниковых материалов, материалов покрытий, а также сплавы на их основе: латуни, бронзы, медно-никелевые сплавы и другие.

Серебро среди всех проводниковых материалов обладает наименьшим удельным сопротивлением ($\rho=0,016$ мкОм*м), невысокой твердостью НВ25. К недостаткам Ag следует отнести пониженную химическую стойкость и относительно высокую диффузию в материал подложки, на которую оно нанесено. При высокой влажности и повышенной температуре диффузионные процессы усиливаются. Применяется серебро в электротехнике и электронике в качестве материала микропроводников, в контактах, при изготовлении керамических и слюдяных конденсаторов.

Медь является основным проводниковым материалом. Механические и электрические характеристики меди зависят не только от ее химической чистоты, но существенно и от ее состояния. Твердотянутая медь марки МТ имеет меньшую проводимость и относительное удлинение перед разрывом, но большую механическую прочность и твердость, чем отожженная медь марки ММ. В результате отжига прочность меди марок МТ снижается, но повышается проводимость. Основное применение меди – токопроводящие жилы обмоточных, монтажных и установочных проводов], контакты, детали токопроводящих устройств.

Алюминий легко окисляется на воздухе и покрывается прочной оксидной пленкой, защищающей металл от дальнейшего окисления. Это обуславливает его высокую коррозионную стойкость, но и создает значительные трудности при пайке. По отношению к большинству других металлов алюминий имеет отрицательный электрохимический потенциал, что в присутствии влаги способствует электрохимической коррозии в зоне контакта. Проводниковый алюминий используют для изготовления жил обмоточных, монтажных и установочных проводов, прессованных жил кабелей различного назначения (рис.2.10)



Рис. 2.10. Применение наиболее распространенных проводниковых материалов.

Сплавы с повышенным ($\rho > 0,3 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$) и высоким ($\rho > 1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$) удельным сопротивлением. медно-никелевые сплавы: манганин, мельхиор, нейзильбер, константан; сплавы с особыми свойствами – никелевые, никель-хромовые, идущие для изготовления различных резисторов.

К материалам с высоким удельным сопротивлением можно отнести и материалы для термопар. Выпускаются различные марки материалов с повышенным и высоким ρ , а также сортамент в виде полос, прутков, лент, проволоки, трубок.

Основными требованиями к материалам для резисторов являются низкий ТКр, низкая термоЭДС в паре с медью, высокая стабильность электрического сопротивления во времени. Применяют для изготовления технических (регулирующих, пусковых реостатов, нагрузочных элементов) и прецизионных (образцовые резисторы, элементы электроизмерительных приборов, катушки сопротивления, шунты, обмотки потенциометров) компонентов схем и приборов. Выпускаемая для изготовления резисторов из различных материалов с высоким удельным сопротивлением проволока имеет диаметр от 0,009...0,012мм и более. Сплавы на основе благородных металлов кроме высокой коррозионной стойкости имеют малую термоЭДС в паре с медью.

Жаростойкие проводящие материалы кроме высокого удельного сопротивления имеют высокую рабочую температуру. Это сплавы на основе Cr-Ni (нихромы) и Fe-Cr-Al (фехром, хромали),

обладающие повышенной стойкостью к окислению при высоких температурах за счет легирования Al. Их применяют для изготовления нагревательных элементов, пусковых реостатов, работающих в тяжелых условиях. Недостаток фехралей, хромалей – низкие технологические свойства.

Основные характеристики проводниковых материалов:

- удельная электрическая проводимость или удельное электросопротивление ($\rho = 1 / \gamma$);
- температурный коэффициент удельного сопротивления - T_{kp} ;
- коэффициент теплопроводности λ_T ;
- контактная разность потенциалов и термоэлектродвижущая сила;
- предел прочности при растяжении $\sigma_{пр}$;
- относительное удлинение при разрыве Δ/l .

Полупроводниковые материалы.

К полупроводникам относятся материалы, свойства которых частично схожи со свойствами проводников, частично со свойствами диэлектриков. К ним относится большое количество веществ с электронной электропроводностью.

Основной особенностью полупроводников является их способность изменять свои свойства под влиянием различных внешних воздействий (изменение температуры, приложение электрического или магнитного полей и т.д.). Свойства полупроводников сильно зависят от содержания примесей. С введением примеси изменяется не только значение проводимости, но и характер её температурной зависимости.

Электрический ток в полупроводниках связан с дрейфом носителей заряда. Появление носителей заряда в полупроводниках определяется химической частотой и температурой.

Свойства сильно зависят от внешних факторов – электрического и магнитного полей, электромагнитного и ядерного излучений и др.

По химическому составу полупроводниковые материалы делят на простые вещества (атомные, элементарные полупроводники – германий, кремний, теллур и др.) и химические соединения различных типов:

Бинарные соединения - Cu_2O , CuS , $GaAs$, GaP , InP

Тройные смеси - $CuAlS_2$, $CuSbS_2$, $CuFeS_2$, $ZnSiAs_2$, $PbBiSe_2$

От металлов они отличаются тем, что носители электрического тока в них создаются тепловым движением, светом, потоком электронов и т.п. источником энергии. Без теплового движения (вблизи абсолютного нуля) полупроводники являются изоляторами. С повышением температуры электропроводность полупроводников возрастает и при расплавлении носит металлический характер (рис.2.11).

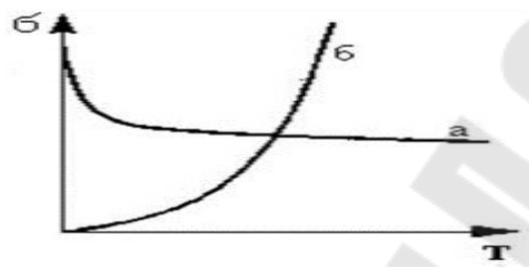


Рис. 2.11. Зависимость удельной проводимости от температуры для металлов (а) и полупроводников (б)

Уникальные свойства полупроводниковых материалов обусловили широкое техническое применение их для изготовления самых различных приборов – полупроводниковых диодов, транзисторов, тиристоров, фотодиодов, фототранзисторов, светодиодов, полупроводниковых лазеров, а также датчиков давлений, магнитных полей, температур, излучений и др. (рис.2.12).

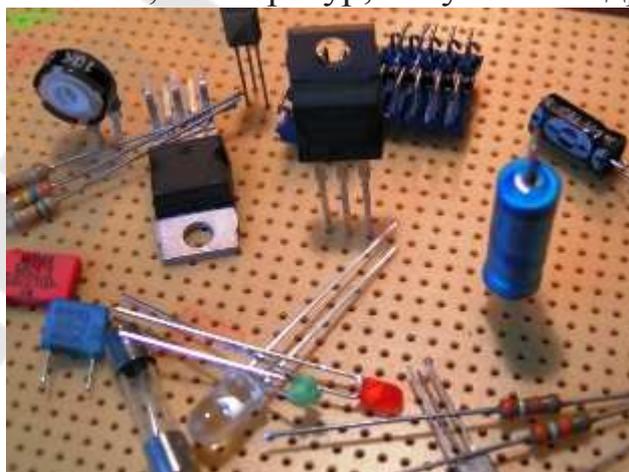


Рис. 2.12. Использование полупроводников

Использование полупроводников вызвало коренные преобразования в радиотехнике, кибернетике, автоматике,

телемеханике. Полупроводниковая электроника открыла новые пути микроминиатюризации различного электронного оборудования.

Сверхпроводниковые материалы. Сверхпроводники – это многожильные композиты диаметром от 0,1 до 6 мм, содержащие в металлической матрице с высокой тепло- и электропроводностью строго определенную долю непрерывных жил из сверхпроводящего материала (рис.2.13).



Рис. 2.13. Вид изделий из сверхпроводников

С понижением температуры удельное сопротивление в металлах уменьшается. Однако есть металлы и сплавы, у которых при критической температуре значение ρ резко падает до нуля – материал становится сверхпроводником.

Сверхпроводниками являются ниобий, сплавы на его основе. Применяются сверхпроводники для изготовления обмоток мощных генераторов, электромагнитов, туннельных диодов, устройств памяти, при создании магнитных полей большой напряженности, в криогенных гироскопах с магнитным подвесом (рис.2.14).

Применение сверхпроводников в мощных магнитах, трансформаторах, генераторах, линиях передач сводит к нулю потери в проводниках и позволяет значительно повышать плотность тока и напряженность магнитного поля.

Маломощная электроника (Джозефсоновский переход).



Рис. 2.14. Применение сверхпроводников

В настоящее время получены керамические высокотемпературные сверхпроводники, переходящие в сверхпроводящее состояние при температурах минус 160...168 °С, которая может быть получена с помощью жидкого азота (температура порядка минус 195 °С).

Припой - сплавы, используемые для соединения металлических деталей при помощи расплавленного дополнительного материала (рис.2.15). Используются для получения электрического или механического соединения.

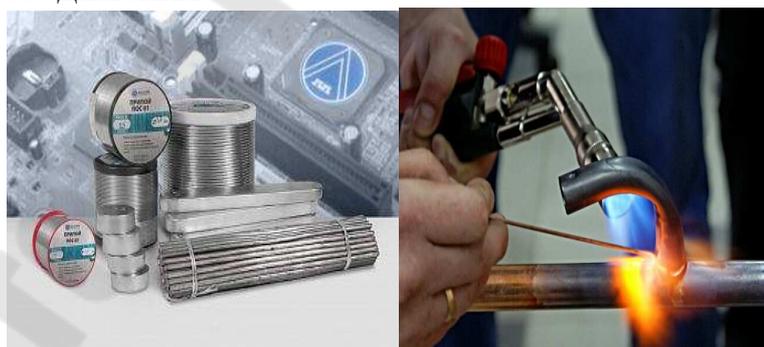


Рис. 2.15. Виды припоя и его использование

Припой бывают двух типов: для низкотемпературной ($t_{пл} < 400^{\circ}\text{C}$) и высокотемпературной ($t_{пл} > 600^{\circ}\text{C}$) пайки. Широкое применение для пайки металлов высокой проводимости находят низкотемпературные припои, которые должны иметь небольшое переходное электрическое сопротивление, обеспечивать хорошую

смачиваемость поверхности, близкие ТКЛР материала соединяемых деталей и припоя. Этим требованиям отвечают припои на основе олово-свинец (ПОС) и олово-цинк (ПОЦ). Для пайки меди и ее сплавов применяют припой марок ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61 и другие. Цифра показывает процентное содержание олова.

Для снижения температуры пайки припой олово-свинец легируют кадмием. Это припои марок ПОСК ($t_{пл} \sim 140 \dots 160^\circ\text{C}$).

Для пайки алюминия и его сплавов применяют сплавы на основе металлов олово-цинк: ПОЦ90, ПОЦ60 и другие, затвердевающие при температурах $t_{затв} \sim 199 \dots 250^\circ\text{C}$

Для пайки изделий, не допускающих нагрева до температуры выше 100°C , используют сплавы висмута со свинцом, оловом, кадмием: сплав Вуда ($t_{пл} = 60^\circ\text{C}$), сплав Розе ($t_{пл} = 94^\circ\text{C}$) и другие.

При повышенных требованиях к электропроводности и механической прочности соединения при пайке используют припои, легированные серебром: например, ПСр1,5 (1,5% Ag) – температура плавления и затвердевания у них зависит от процентного содержания серебра и изменяется от 225 до 305°C .

2.2. Магнитные материалы

Магнитные материалы, магнетики — материалы, вступающие во взаимодействие с магнитным полем, выражающееся в его изменении, а также в других физических явлениях — изменение физических размеров, температуры, проводимости, возникновению электрического потенциала и т. д. Все вещества в природе являются магнетиками, т.е. они обладают определенными магнитными свойствами и определенным образом взаимодействуют с внешним магнитным полем. Магнитные свойства вещества зависят от магнитных свойств микрочастиц, структуры атомов и молекул.

Классификация магнитных материалов (рис.2.16).

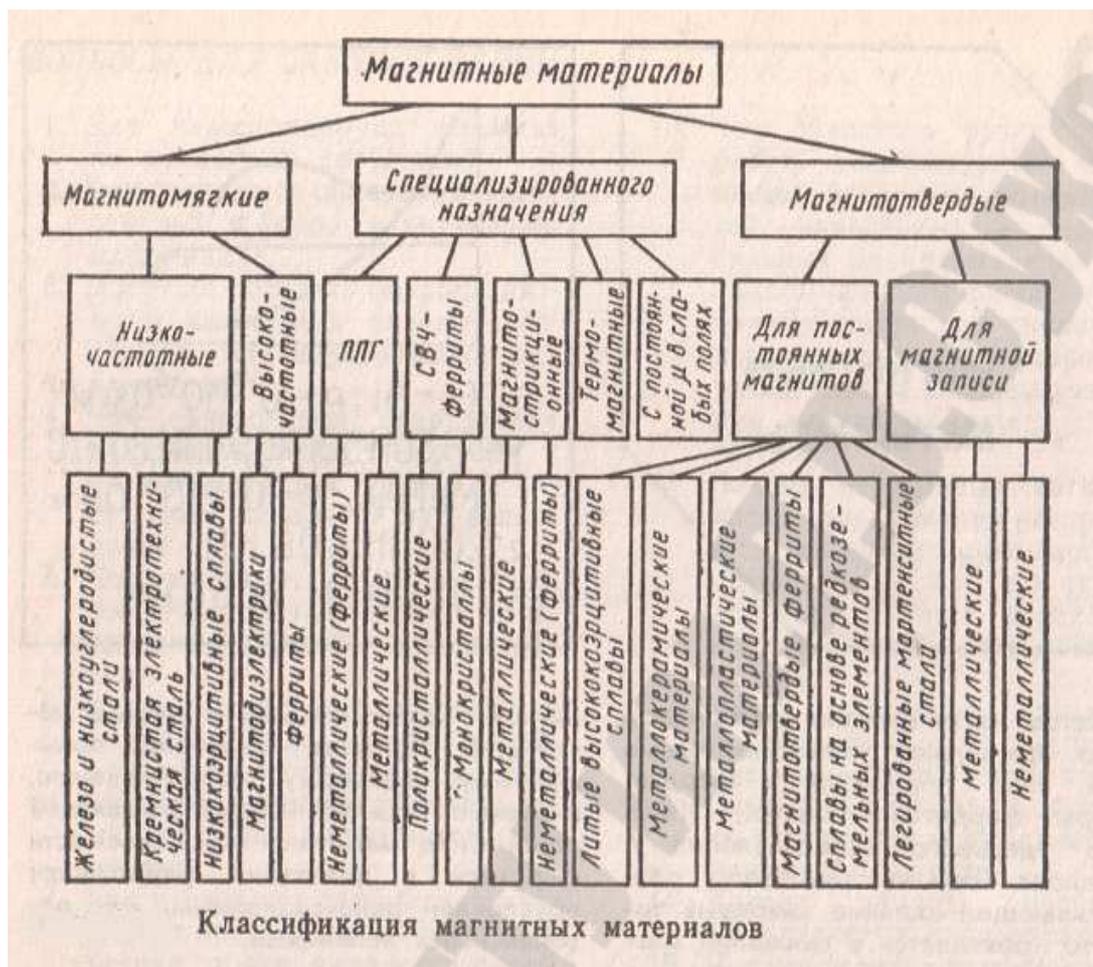


Рис. 2.16. Классификация магнитных материалов

Магнитные материалы делят на слабомагнитные и сильномагнитные. К слабомагнитным относят диамагнетики и парамагнетики. К сильномагнитным – ферромагнетики, которые, в свою очередь, могут быть магнитомягкими и магнитотвердыми. Формально отличие магнитных свойств материалов можно охарактеризовать относительной магнитной проницаемостью. Диамагнетиками называют материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом. Внешне диамагнетики проявляют себя тем, что выталкиваются из магнитного поля. Парамагнетиками называют материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля. Внешне парамагнетики проявляют себя тем, что втягиваются в неоднородное магнитное поле. К ним относят алюминий, платину, никель и другие материалы. Ферромагнетиками называют материалы, в которых собственное

(внутреннее) магнитное поле может в сотни и тысячи раз превышать вызвавшее его внешнее магнитное поле. К магнитомягким материалам относят: технически чистое железо (электротехническая низкоуглеродистая сталь), электротехнические кремнистые стали, железоникелевые и железокобальтовые сплавы, магнитомягкие ферриты. Магнитные свойства низкоуглеродистой стали (технически чистого железа) зависят от содержания примесей, искажения кристаллической решетки из-за деформации, величины зерна и термической обработки. По причине низкого удельного сопротивления технически чистое железо в электротехнике используется довольно редко, в основном для магнитопроводов постоянного магнитного потока.

Электротехнические кремнистые стали. Электротехническая кремнистая сталь является основным магнитным материалом массового потребления. Это сплав железа с кремнием. Легирование кремнием позволяет уменьшить коэрцитивную силу и увеличить удельное сопротивление, то есть снизить потери на вихревые токи. Листовая электротехническая сталь, поставляемая в отдельных листах или рулонах, и ленточная сталь, поставляемая только в рулонах - являются полуфабрикатами, предназначенными для изготовления магнитопроводов (сердечников).

Магнитопроводы формируют либо из отдельных пластин, получаемых штамповкой или резкой, либо навивкой из лент. Железоникелевые и железокобальтовые сплавы

Железоникелевые сплавы называют пермаллоями. Они обладают большой начальной магнитной проницаемостью в области слабых магнитных полей. Пермаллои применяют для сердечников малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей и реле.

Магнитомягкие ферриты. Ферриты представляют собой магнитную керамику с большим удельным сопротивлением, в 1010 раз превышающим сопротивление железа. Ферриты применяют в высокочастотных цепях, так как их магнитная проницаемость практически не снижается с увеличением частоты. Недостатком ферритов является их низкая индукция насыщения и низкая механическая прочность. Поэтому ферриты применяют, как правило, в низковольтной электронике.

Магнитотвердые материалы. Литые магнитотвердые материалы на основе сплавов Fe-Ni-Al. Порошковые магнитотвердые материалы,

получаемые путем прессования порошков с последующей термообработкой.

Магнитотвердые ферриты. Магнитотвердые материалы — это материалы для постоянных магнитов, использующихся в электродвигателях и других электротехнических устройствах, в которых требуется постоянное магнитное поле.

Магнитные материалы широко используются для изготовления самых разнообразных деталей и узлов в машино — и приборостроении (рис.2.17). Наибольшее распространение они получили при изготовлении постоянных магнитов, сердечников магнитных головок, роторов и статоров электродвигателей, датчиков положения, путевых упоров, конечных выключателей, электромагнитов, трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности. Одним из наиболее массовых изделий из магнитно-мягких материалов являются магнитные головки аппаратуры магнитной записи (магнитофоны, ЭВМ, накопители, регистраторы информации).



Рис. 2.17. Изделия из магнитных материалов

2.3. Контроль качества электротехнических материалов.

Контроль качества электротехнических материалов и изделий— это определение свойств, характеризующих пригодность материалов к использованию в соответствии с назначением. Контроль качества осуществляют непосредственным или косвенным определением параметров и характеристик, а также определением тех свойств и их составных частей, от которых зависят выходные характеристики и параметры, их надежность и долговечность. К таким свойствам относятся, например, наличие или отсутствие нарушений сплошности материалов и деталей, физико-механические свойства (прочность, твердость, упругость, износостойкость и т.д.), надежность электрических и механических соединений, правильность сборки и электрического монтажа, правильность термообработки, толщина и свойства изоляционных, антикоррозионных и других покрытий. Для определения этих свойств используют методы разрушающего (РК) и неразрушающего контроля (НК).

Методы разрушающего контроля применяются для выборочных испытаний отдельных образцов, и по его результатам статистическими методами делается заключение о качестве партии материала, к которой относятся испытываемые образцы. РК позволяет непосредственно определить контролируемые параметры или характеристики (например, предел прочности или толщину покрытия), но не дает полной уверенности в удовлетворительном качестве всей партии материала. Кроме того, РК трудоемок и почти не поддается автоматизации.

Методы неразрушающего контроля имеют три основных направления:

- дефектоскопия связана с обнаружением нарушения сплошности;
- структуроскопия с определением физико-механических, электрофизических и других свойств;
- толщинометрия - с измерением геометрических параметров.

Методы НК группируются по общности физических характеристик (рис. 2.18).



Рис. 2.18. Методы НК

Техническая диагностика. Отрасль науки и техники, исследующая техническое состояние объектов диагностирования, разрабатывающая и использующая методы и средства его определения. Техническая диагностика - область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта. Назначение технической диагностики в энергетике это повысить безопасность эксплуатации энергетического оборудования и уменьшить потребление ТЭР.

К аппаратным средствам ТД относят различные устройства: приборы, пульта, стенды, линии связи с объектом, специальные вычислительные и управляющие машины, встроенную аппаратуру к ним и т.п. (рис.2.19).



Рис. 2.19. Различные устройства диагностирования и контроля

Системы диагностирования предназначаются для проверки исправности, проверки работоспособности; проверки функционирования; поиска дефектов при производстве изделий (в процессе их наладки и приемки), эксплуатации (при техническом обслуживании в процессе применения, хранения и транспортирования), а также при ремонте (перед и после него).

Тема 3. Теплоизоляционные и огнеупорные материалы

3.1. Классификация теплоизоляционных и огнеупорных материалов.

К теплоизоляционным относятся материалы и изделия, теплопроводность которых не превышает $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ при 25°C , плотностью не более $600 \text{ кг}/\text{м}^3$, обладающих стабильными физико-

механическими и теплотехническими свойствами. Они не должны выделять токсических веществ и пыли в количествах, превышающих допустимые концентрации. Материалы и изделия плотностью свыше 400 кг/м³ используют для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов, а плотностью свыше 500 кг/м³ — для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Классификация теплоизоляционных материалов и изделий производится по следующим признакам (рис.3.1):

- структуре;
- форме;
- виду основного исходного сырья;
- плотности;
- жесткости (относительной деформации сжатия);
- теплопроводности;
- возгораемости.

КЛАССИФИКАЦИЯ:

- **1. по виду основного исходного сырья:**
 - неорганические,
 - органические;
- **2. структуре;**
 - волокнистые,
 - ячеистые,
 - зернистые,
 - сыпучие;
- **3. форме:**
 - рыхлые (вата, перлит),
 - плоские (плиты, маты, войлок),
 - фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.);
 - шнуровые (шнуры, жгуты);
- **4. сжимаемости:**
 - мягкие (М), имеющие относительную деформацию свыше 30 % при удельной нагрузке 2 кПа;
 - полужесткие (ПЖ) – соответственно 6-30 %;
 - жесткие (Ж) – не более 6 %.
- **5. возгораемости (горючести):**
 - негорючие,
 - трудногорючие,
 - горючие.



Рис. 3.1. Классификация теплоизоляционных материалов по признакам

В зависимости от структуры теплоизоляционные материалы делят на (рис.3.2):

- волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
- зернистые (перлитовые, вермикулитовые, совелитовые известково-кремнеземистые и др.);
- ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты).



Рис. 3.2. Структура теплоизоляционных материалов

По форме и внешнему виду теплоизоляционные материалы бывают (рис.3.3):

- штучные (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
- рулонные (маты, полосы, матрацы);
- шнуровые (шнуры, жгуты);
- сыпучие и рыхлые (вата минеральная, стеклянная, вспученные перлит и вермикулит).



Рис. 3.3. Форма и внешний вид теплоизоляционных материалов

В зависимости от плотности теплоизоляционные материалы делят на марки:

- особо легкие (ОЛ) с марками Д 15, 25, 35, 75 и 100;
- легкие (Л) — Д 125, 150, 175, 200, 250, 300 и 350;
- тяжелые (Т) — Д 400, 450, 500 и 600.

В зависимости от жесткости (относительной деформации сжатия) под удельной нагрузкой теплоизоляционные материалы бывают пяти видов:

- мягкие (М);
- полужесткие (П);
- жесткие (Ж);
- повышенной жесткости (ПЖ);
- твердые (Т).

Для мягких материалов сжимаемость должна быть не более 30%, полужестких — 6...30% и жестких — до 6%. Величина относительного сжатия для изделий повышенной жесткости и твердых должна быть не более 10% при удельной нагрузке соответственно 0,04 и 0,1 МПа.

В зависимости от теплопроводности теплоизоляционные материалы делят на три класса:

- низкой теплопроводности — класс А;
- средней теплопроводности — класс В;
- повышенной теплопроводности — класс С.

Каждый вид теплоизоляционного материала характеризуется показателем теплопроводности при средней температуре испытания 125°С для материалов, применяемых при температуре изолируемых поверхностей до 500°С, и при 300°С для материалов, применяемых при температуре свыше 500°С.

Классификация теплоизоляционных материалов по виду основного исходного сырья:

- неорганические;
- органические.

Неорганические теплоизоляционные материалы подразделяют на:

- штучные: волокнистые - плиты, цилиндры, сегменты из минеральной ваты на синтетическом, битумном или крахмальном связующем, стеклянного волокна на синтетическом связующем;
- ячеистые: совелитовые плиты, получаемые формованием и сушкой углекислого магния, углекислого кальция и асбеста; вулканитовые плиты, полуцилиндры и сегменты из диатомита

(трепела), извести и асбеста; изделия в виде кирпича, полуцилиндров, сегментов пенодиатомитовые и диатомитовые; асбестовермикулитовые, перлитоцементные, перлитокерамические и перлитофосфогелевые изделия, а также изделия из ячеистых бетонов на неорганических вяжущих и изделия из пеностекла;

- рулонные: волокнистые изделия в виде матов из минерального и стеклянного волокна на синтетическом связующем или прошивные, а также холсты из ультрасупертонкого стеклянного или базальтового волокна, скрепленных между собой силами естественного сцепления;

- шнуровые: шнуры из минеральной ваты, асбеста или асбестомагнезиального сырья, а также стеклянный жгут;

- рыхлые и сыпучие материалы: по структуре бывают двух видов: волокнистые и зернистые, к первым относятся минеральная вата из металлургических и топливных шлаков, вата из силикатных горных пород, стеклянная, из штапельного супертонкого стекловолокна и каолинового состава, к зернистым или сыпучим материалам принадлежат совелит, вспученные перлит и вермикулит, асбесто-магнезиальный порошок (ньювель), асбозурит и крошка диатомитовая или трепельная.

Использование материалов, содержащих органические вещества для изоляции поверхностей свыше 100°C, допускается только при соответствующих указаниях стандарта.

Возгораемость — способность теплоизоляционного материал выдерживать в течение определенного времени действие высокой температуры и открытого пламени. Предельная температура применения — важная характеристика при изоляции промышленной оборудования; это свойство зависит от состава и структуры материала. По возгораемости теплоизоляционные материалы и изделия делят на три группы:

- несгораемые;
- трудносгораемые;
- сгораемые.

3.2. Исходное сырье и технология получения огнеупорных и теплоизоляционных материалов.

Рассмотрим основные методы получения огнеупорных и теплоизоляционных материалов - метод создания волокнистых масс

или каркасов, вспучивание и технологию получения поризованных материалов, технологию получения сыпучих (засыпных) материалов.

Получение волокнистых материалов

Дробление и механическое распушивание природных волокнистых материалов, (асбестовых руд, древесных пород, и отходов слюдяного производства). Измельчение и распушивание асбестовых пучков производят на бегунах и голендерах с последующим разделением по сортности продуктов дробления. Древесные породы в виде щепы, некондиционного горбыля и других отходов деревообрабатывающей промышленности сначала подвергаются мелкой рубке, затем просеву, после чего пропариваются под давлением нескольких атмосфер. Распаренная щепка распушивается на отдельные волокна на дефибраторах. Из полученной таким способом древесноволокнистой массы в дальнейшем изготавливаются древесноволокнистые плиты требуемой степени пористости.

Другим способом является - использование огненно-жидких расплавов некоторых горных пород, металлургических шлаков. Исходное сырье сначала расплавляется до вязко-жидкого состояния в вагранках или ваннных печах. Затем расплав, вытекая равномерной струей из летки или фидера печи, раздувается на тонкие волокна паром или сжатым воздухом, выбрасываемым из соответствующих сопел, направленных перпендикулярно к движению струи расплава. Расплав в волокна распушивают также центробежным способом: вытекающая из печи струя расплава попадает на дисковую, чашечную или валковую центрифугу и благодаря быстрому ее вращению разбивается на отдельные волокна. Чаще применяют центробежно-дутьевые установки, в которых превращение струи расплава в волокно осуществляется совместным сочетанием обоих способов. Полученный таким образом волокнистый материал в дальнейшем используют для изготовления войлока матов, шнуров, плит, скорлуп, различных сегментов для утепления трубопроводов.

Получение пористых материалов

Вспучивание и технология получения поризованных материалов базируется на термической обработке исходного минерального сырья или соответствующих шихт из него. Во время термической обработки совершаются почти одновременно два процесса. Первый - появление в обжигаемой породе или шихте некоторого количества расплава (жидких фаз) и второй - процесс газообразования(результат

выгорания органических веществ, выделения химически связанной воды, разложения карбонатов и других солей, выделяющих газообразные продукты, а также результатом окислительно-восстановительных реакций, при которых из исходного сырья или соответствующих шихт при температурах обжига выделяются те или иные газы. Последние, не имея возможности пробиться из обжигаемой массы наружу, вследствие значительной вязкости расплава вспучивают и таким образом поризуют его.

Способностью к вспучиванию при быстром нагревании обладают некоторые горные породы и минералы -- перлит, вермикулит, некоторые виды глин, в результате выделения из них при высокой температуре водяного пара или другого газа. Они при этом обычно (за исключением вермикулита) переходят в пластично-вязкое (пиропластическое) состояние. Коэффициент вспучивания - отношение объемов материала после и до нагрева колеблется в широких пределах в зависимости от температуры и скорости ее подъема.

Образование пористой структуры без вспучивания имеет место при удалении парообразователя. В качестве парообразователей при этом используют воду, легколетучие жидкости, выгорающие добавки. Из масс с высоким содержанием воды (гидромасс) формируют древесно-волоконистые, торфяные, асбестоцементные теплоизоляционные плиты. Ячеистые бетоны способом высокого водозатворения изготавливать неэффективно, так как при этом требуется большой расход теплоты на испарение влаги. Высокую пористость за счет выгорающих добавок достигают при получении теплоизоляционных керамических изделий.

Пористость волокнистых материалов обусловлена взаимным переплетением волокон, образующих жесткий каркас. Объем пор при этом зависит от диаметра волокон, их упругости, свойств поверхности. Более высокая пористость достигается длинноволокнистым материалом. При получении теплоизоляционных материалов широко используют волокна, получаемые механическими, термическими, гидравлическими и другими способами диспергации неорганического и органического сырья. Изделия из волокон часто формируют с различными вяжущими (фибrolит, арболит, минераловатные плиты и др.) или без них (прошивные минераловатные маты и др.).

Получение зернистых материалов. При использовании зернистых компонентов неплотная упаковка достигается гранулометрическим составом частиц, обеспечивающим повышенную межзерновую пустотность. Таким путем получают различные сыпучие (засыпные) материалы.

3.3. Формованные и неформованные огнеупорные и теплоизоляционные изделия

По внеш. виду теплоизоляционные материалы делят на формованные (кирпичи, блоки, плиты, сегменты, рулоны) (рис.3.4) и неформованные-засыпки (порошки, пористые гранулы) (рис.3.5). Различают также жесткие (плиты, камни, кирпичи) и гибкие (маты, рулоны, жгуты) теплоизоляционные материалы.

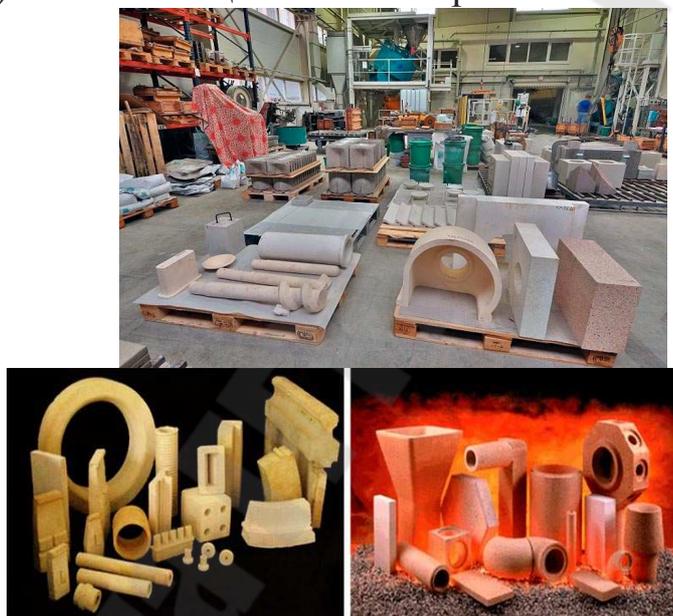


Рис. 3.4. Формованные огнеупорные материалы



Рис. 3.5. Неформованные огнеупорные материалы

Классификация огнеупорных материалов.

По химико-минералогическому составу огнеупоры делятся на следующие группы :

- кремнеземистые - не менее 92% SiO₂, изготавливаемые из кварцита;
- алюмосиликатные, до 45% Al₂O₃, изготавливаемые из огнеупорных глин и каолинов свыше 45% Al₂O₃ и высокоглиноземистые огнеупоры;
- магнезиальные из магнезита, с различными связующими добавками- не менее 85% MgO, доломитовые - не менее 35% MgO и 40% CaO), форстеритовые - от 35 до 55% MgO и Cr₂O₃), шпинельные - MgO и Al₂O₃ в молекулярном соотношении) огнеупоры;
- хромистые, к которым относятся хромитовые (около 30% Cr₂O₃) и хромомагнезитовые (10 — 30% Cr₂O₃ и 30 — 70% MgO) изделия.
- углеродистые, в состав которых входит в том или ином количестве углерод, — графитовые (30 — 60% C), коксовые (70 — 90% C).
- цирконистые: циркониевые, изготавливаемые из ZrO₂ и цирконовые, изготавливаемые из минерала Zr₂O₃·SiO₂.
- окисные — изделия из окиси бериллия, окиси тория и окиси церия.
- карбидные и нитридные, к которым относятся карборундовые (30— 90% SiC) огнеупоры и огнеупоры из нитридов, карбидов и сульфидов.

Таблица 3.1

**Основные характеристики
некоторых наиболее часто применяемых огнеупоров**

Огнеупоры	Содержание основных компонентов, масс.%	С	Огнеупорность,°
Кварцевые	SiO ₂ > 98		1730
Динасовые	93 < SiO ₂ < 96		1710-1730
Шамотные	50 < SiO ₂ < 75,	28	1610-1750
Муллитовые	< Al ₂ O ₃ < 45		1610-1750
Корундовые	50 < Al ₂ O ₃ < 80,	15 <	1760-1865
	SiO ₂ < 40		
	Al ₂ O ₃ > 88		2050

Магнезитовые	$MgO > 92$ $45 < CaO < 85,$	2200
Доломитовые	$10 < MgO < 50$ $50 < MgO < 65, 25 <$	1800-1950
Форстеритовые	$SiO_2 < 40$ $30 < MgO < 75,$	1750
Хромомагнезитовые	$10 < Cr_2O_3 < 45$ $50 < ZrO < 75, 25 <$	1700-1800
Цирконовые	$SiO_2 < 50$	>2000
Карбидкремниевые	$SiC > 70$	2000
Графитовые	$C > 85$	2500

Огнеупорность - способность изделия противостоять, не расплавляясь, действию высоких температур. Огнеупорность характеризуется температурой, при которой стандартный образец из материала в форме трехгранной усеченной пирамиды высотой 30 мм и сторонами оснований 8 и 2 мм (конус Зейгера) размягчается и деформируется так, что его вершина касается основания. Определенная таким образом температура обычно выше максимально допустимой температуры эксплуатации огнеупорных материалов.

Свойства огнеупорных материалов:

- пористость;
- термическая стойкость при высоких температурах;
- теплопроводность;
- температура начала деформации под нагрузкой;
- стойкость к термоудару;
- химическая стойкость в различных средах.

Огнеупоры бывают пористыми (вплоть до ультралегковесных с пористостью 75–90%) и непористыми (вплоть до особоплотных с пористостью менее 3%)

По пористости, определяемой в объемной доле пор в %, материалы подразделяются на:

- особоплотные огнеупорные материалы (пористость менее 3%);
- высокоплотные (3-10%);

• уплотненные материалы повышенной пористости (16-20%);
легковесные (45-75%); (20-30%);

• огнеупоры с высокой (45-85%) пористостью;
• ультралегковесные (75-90%), к которым обычно относят волокнистые огнеупорные материалы.

По степени огнеупорности материалы делятся на три группы:

- 1) огнеупорные (1580—1750°С); Класс 0 А Б В
Огнеупорность, °С, не менее 1750 1730 1670 1580
- 2) высокоогнеупорные (1770—2000°С);
- 3) высшей огнеупорности (>2000°С).

Изделиями высшей огнеупорности являются изделия из чистых окислов, а также некоторые нитриды, карбиды, бориды и сульфиды. Используются в современной технике тугоплавких редких металлов, (титан, цирконий, тантал, ниобий, молибден, уран, торий высокой чистоты).

Оксид бериллия (BeO), температура плавления 2530°С. изделия из BeO , обожженные при 1900°С, отличаются высокой термостойкостью и теплопроводностью, малой пористостью (кажущаяся пористость менее 6%, причем открытая пористость отсутствует). Газопроницаемость их незначительна, поэтому они могут быть использованы в установках дистилляции металлов в вакууме. Оксид тория (ThO_2), температура плавления 3300°С. Изделия из ThO_2 , обожженные при температуре 1500°С, обладают большой плотностью и высокой огнеупорностью (3000°С), однако малой термической стойкостью, так как при малой теплопроводности имеют большой коэффициент линейного расширения. Оксид тория применяется для изготовления высокотемпературных нагревателей электрических печей сопротивления.

Карбидам многих металлов характерна высокая температурой плавления, значительная химическая стойкость. Карбид титана (TiC), температура плавления 3140°С. Тигли из карбида титана с добавкой 1% Na_2SiO_3 и 2,5% порошка железа применяются для плавки тугоплавких и химически активных металлов (натрий и др.).

В металлургии нашли применение изделия из боридов циркония и хрома. Борид циркония (ZrB_2), температура плавления 3040°С.

Изделия из борида циркония устойчивы к воздействию азотной и соляной кислот, а также расплавленных металлов и солей. Борид хрома, температура плавления 1850°C. изделия из борида хрома а также устойчивы по отношению к химически активным металлам. Используется как материал для изготовления тиглей, чехлов термопар, сопел высокотемпературных горелок и др.

У сульфид тория, температура плавления более 2500° С. Тигли из сульфида бария применяются для плавки церия, тория, магния, алюминия.

По термической обработке огнеупорные изделия делятся на:

- обжиговые (обожженные после формовки);
- безобжиговые и литые плавленные.

По способу изготовления огнеупоры делятся на:

- формованные — форма придается при изготовлении,
- неформованные — форма приобретает в процессе применения (огнеупорные бетоны, набивные массы, обмазки);
- огнеупорные растворы-наполнители швов огнеупорной кладки.

По сложности формы и размерам штучные огнеупорные изделия делятся на следующие виды: нормальный кирпич; фасонное изделие; крупные блоки и специальные изделия (тигли, трубки и т. п.).

Безобжиговые огнеупоры - изделия из огнеупорных материалов и связки, приобретают требуемые свойства при сушке < 400°C (после нагрева изделий от 400 до 1000°C их называют термообработанными). Связкой могут быть глины, керамические суспензии, растворы фосфатов, щелочные силикаты (жидкое стекло), смолы термопластичные и терморреактивные, эластомеры и другие безобжиговые огнеупоры по прочности и пластичности не уступают, а по термостойкости превосходят обожженные огнеупоры.

Наиболее широко применяют следующие безобжиговые огнеупоры.

Формованные и неформованные огнеупоры:

- кремнеземистые бетонные блоки (для нагревательных колодцев);
- шамот и высокоглиноземные (для обжиговых агрегатов);

- магнезиальноизвестковые на смоляной (пековой) связке (для сталеплавильных конвертеров);
- периклазовые и периклазохромитовые (для сталеразливочных стаканов).

Для обожженных огнеупорных материалов температура обжига превышает 600 °С и определяется достижением необходимых физико-химических свойств материала. Обжиг огнеупорных материалов проводят в плазменных или электрических печах периодического или непрерывного действия - камерных, кольцевых, туннельных, шахтных и др.

Формованные изделия - определенная форма которым придается еще в процессе их изготовления (огнеупорный шамотный кирпич).

Используют для футеровки тепловых агрегатов и нагревательных приборов. Неформованные огнеупоры - не имеют определенных форм или размеров, находятся в виде сыпучих, волокнистых или кусковых материалов, суспензии или пасты (огнеупорные бетоны, цементы, обмазки, материалы для покрытий). Применение: металлургия, керамические и стекольные производства.

Производство неформованных огнеупоров экономичнее, чем формованных:

- можно изготавливать на месте монолитные конструкции без швов, их форму и размеры можно проектировать более свободно;
- нужная прочность достигается с помощью арматуры;
- материалы можно расходовать экономно;
- ремонтные работы проще.

К формованным огнеупорам относятся изделия, определенная форма которым придается еще в процессе их изготовления — например: огнеупорный шамотный кирпич. Его используют для футеровки множества тепловых агрегатов и нагревательных приборов.

Неформованные огнеупоры не имеют определенных форм или размеров, чаще всего они находятся в виде сыпучих, волокнистых или кусковых материалов, суспензии, или пасты. К ним относятся, например, огнеупорные бетоны, цементы, обмазки, материалы для покрытий. Как оказалось, они более выгодны и для производителей огнеупорных изделий, и для потребителей.

Главные потребители этой отрасли — металлургия, керамические и стекольные производства, и для них в применении неформованных огнеупоров есть много преимуществ. С использованием подобных материалов можно изготавливать на месте монолитные конструкции без швов, причем их форму и размеры можно проектировать более свободно. Нужная прочность достигается с помощью арматуры, а материалы можно расходовать достаточно экономно. Кроме того, выполнять ремонтные работы тоже становится значительно проще. Скорее всего, доля использования неформованных огнеупоров со временем будет значительно возрастать.

Применение формованных и неформованных огнеупоров

Формованные огнеупоры применяются - для изготовления огнеупорных кладок стен, сводов, подов и других конструкций коксовых, мартеновских и доменных печей, печей для выплавки различных сплавов, при футеровке ядерных реакторов, авиационных и ракетных двигателей.

Неформованные огнеупоры применяют - для заполнения швов при кладке формованных огнеупоров, нанесения защитных покрытий на металлы и огнеупоры, для выполнения и ремонта футеровок сталеразливочных ковшей (набивные и наливные кремнеземные, высокоглиноземные и магнезиальные массы); конвертеров (торкрет-массы), нагревательных и обжиговых печей (шамот, и высокоглиноземные массы), индукционных печей (корундовые и периклазовые массы), коксовых печей (обмазки), подин мартен, и электродуговых печей (заправочные порошки)

Общая технология производства огнеупорных изделий включает следующие операции:

- подготовка сырья;
- очистка от посторонних примесей;
- измельчение;
- просеивание;
- приготовление смесей со строгой дозировкой компонентов;
- формование;
- сушку;
- обжиг;
- отбор;
- отделка;

- обработка.

Кроме типичных обжиговых изделий, есть еще электроплавленные литые и безобжиговые, которые получают несколькими иными способами.

Преобладающей является технология, включающая предварительную, тепловую обработку и измельчение компонентов, приготовление шихт с добавлением пластифицированных составляющих, формование из них изделий прессованием на механических и гидравлических прессах или экструзией с последующей допрессовкой или литьем, обжиг в туннельных, реже в периодических и газокамерных печах для получения заданных свойств материала.

Подготовка шихты. Разделенные по крупности подготовленные порошки используют для составления шихты при помощи весовых дозаторов. Жидкие компоненты дозируют объемными дозаторами (вода, связующее и др).

Для обеспечения однородности шихты ее смешивают, используя смесители различных типов: смесители для перемешивания жидких смесей, смесители для получения пластических масс, смесители для получения полусухих масс. Последний способ получения смесей (полусухих) является основным в огнеупорной промышленности.

Формование полуфабриката (сырца) изделия. Из полученных смесей формуют полуфабрикат (сырец) изделия.

Три способа формования:

- пластическое;
- полусухое;
- шликерное литье (шликерное литье огнеупорного изделия,

при котором формирование огнеупорного изделия происходит на стенках формы за счет центробежных сил, возникающих при ее вращении вокруг своей оси.

Способы формования отличаются количеством вводимой в просушенную массу технологической связки, массовая доля которой составляет:

- при пластическом формовании 15 -20;
- полусухом 3-8;
- при шликерном литье 35- 45 %.

Формование при обычных и высоких температурах. Кроме названных способов формования используют вибротрамбование (применяют при изготовлении крупногабаритных изделий),

центрифугирование (при изготовлении кварцевых стаканов для разливки) и др.

Применение огнеупорных материалов

Алюмосиликатные огнеупорные материалы - только на малозначимых участках футеровки в коксовых печах и в некоторых других сталелитейных агрегатах, но как противопожарная изоляция, этот вид огнеупоров имеет большие перспективы.

Шамотные огнеупорные материалы - для футеровки доменных печей, сталеразливочных ковшей, нагревательных и обжиговых печей, котельных топок, тепловых агрегатах металлургической промышленности, набивных масс, порошков, заполнителей бетонов при выполнении и ремонте огнеупорных футеровок разных тепловых агрегатов, волокнистые - для теплоизоляции и футеровки тепловых агрегатов, а также для заполнения компенсационных швов, муфелей, рекуператоров, чехлов термопар, футеровки электрических нагревательных колодцев, агрегатов производства цинка и алюминия, циклонов трубопроводов

Магнезиальные огнеупорные материалы - при футеровке агрегатов металлургии, стекловарных печей, сталеразливочных ковшей (в т.ч. в виде набивных масс), плавильных агрегатов ЦМ, а также для изготовления сталеразливочных стаканов.

Другие огнеупорные материалы - периклазовые огнеупорные изделия применяют для футеровки стенок мартеновских печей, миксеров, печей для плавки меди и никеля, высокотемпературных нагревательных печей, в виде плит шибберных затворов сталеразливочных ковшей, стаканов для разливки сталей, пористых форм для продувки стали газами.

Тема 4. Смазочные материалы

Энергоэффективность любого производства одной стороны обусловлено экономией затрат предприятия, с другой — рациональным использованием ресурсов. Одним из аспектов данной работы может стать сокращение потерь электроэнергии за счет совершенствования программы смазывания. Важно отметить, что покупка более качественных смазок еще не гарантирует эффективную работу оборудования. Помимо этого, необходимо грамотно подобрать смазочный материал. Правильно подобранные материалы - ключ к успеху. Использование высококачественных смазочных материалов при одновременном повышении надежности производства и

увеличении срока службы оборудования экономит дополнительные средства на электроэнергию.

Смазки для энергетической отрасли разработаны специально для применения в тяжелых условиях эксплуатации, обеспечивают максимальную защиту в широком диапазоне температур и соответствуют требованиям многих специалистов. Они отлично справляются с поставленными задачами, где важны защита от износа, влаги и пыли.

Смазки в электроэнергетике используются в работе вращающихся машин: генераторов, синхронных компенсаторов и двигателей, в приводных механизмах выключателей, разъединителей, отделителей, для защиты изоляторов от снижения пробивного напряжения применяются гидрофобные пасты, для увеличения срока службы и предохранения от воздействий окружающей среды различных частей оборудования, они могут покрываться специальными составами.

В то время как многие исследования направлены на развитие в сфере конструктивных материалов, которые часто используются для конструирования устройств и механизмов, разработчики мало времени уделяют прогрессу технологии смазки. Владение этими знаниями может быть ключом к получению более надежных и долговечных устройств.

Оптимальный выбор смазки можно сделать только в том случае, если есть понимание того, какие элементы будут смазываться, поверхности из каких материалов будут входить в контакт (металл с металлом, металл и пластик), и какой вид движения будет совершаться (скольжение или качение). Также на выбор смазки влияют внешние условия и показатели надежности, такие как увеличенный срок службы смазки, химическая стойкость, способность работать при холодных температурах или противостояние коррозии.

Обычно, выбор смазки зависит от четырех главнейших факторов, таких как нагрузка, среда в которой она будет работать, температура, и скорость.

Например, для тяжело нагруженных подшипников работающих при нагрузках, на 20% превышающих номинальные, используется масло, которое обычно содержит твердую смазку и имеет высокую вязкость. Необходимость в таком виде смазки вызвана высокими вибрационными и знакопеременными нагрузками.

Потребитель, при выборе смазки также должен учитывать влияние климата и окружающей среды. Такими факторами являются сезонные и суточные изменения температуры, воздушная пыль, грязь, ветер и влажность. В разных регионах эти факторы различны, прибрежные районы, например, являются более разрушительной средой, нежели континентальные или горные.

Многие масла, используемые в тормозах или переключателях передач, выбираются в зависимости от их возможности работать при низких температурах. Такие смазки, обычно имеют низкую вязкость основы, для того, чтобы противостоять температурному влиянию на вязкость и консистенцию смазки.

Стоит помнить, что нормальная рабочая температура для смазки может сильно отличаться от нормальной температуры окружающей среды. Например, температура внутри корпуса высоковольтного выключателя, при которой в нем находится смазка, значительно отличается от температуры окружающей среды. Масла и смазки наиболее эффективны при рабочей температуре, на которую они рассчитаны.

Перегрев смазки может привести к её повышенному испарению и ухудшению работы оборудования или его полному отказу. Снижение же температуры увеличивает вязкость смазки, скорость работы уменьшается и из-за повышенных нагрузок механизм также может перестать работать. Урон, нанесенный смазке в результате перегрева неисправим, смазка теряет свои свойства, в то время как переохлажденная смазка возвращает свои свойства при нагреве до нормальной температуры.

Синтетическая смазка, в сравнении с минеральной, имеет лучшую стойкость к испарению и может работать в широком диапазоне температур более длительное время.

В неподвижных соединениях или там где присутствуют небольшие скорости целесообразно использовать масла с высокой вязкостью, содержащие в себе твердые смазочные присадки. Таким образом, можно сказать, что в узлах, которые двигаются с высокой частотой и испытывают легкие и средние нагрузки, не претерпевая при этом воздействия экстремальных температур, целесообразно применять жидкие масла в смазках или отдельно. Со снижением скорости и частоты движения узла, увеличением нагрузок и вибраций, а также приближении рабочих температур к экстремальным, пользователь должен задуматься о возможности

использования твердых смазок, паст, сухих смазок, для улучшения надежности и предотвращения неисправностей.

4.1. Общие сведения о маслах и консистентных смазках **Классификация. Назначение масел и смазок**

Смазочные материалы – это вещества с высокими антифрикционными свойствами, которые наносятся на контактирующие поверхности с целью облегчения их взаимного перемещения и уменьшения износа. Смазочные материалы — твердые, пластичные, жидкие и газообразные вещества, используются в узлах трения автомобильной техники, промышленных машин и механизмов, а также в быту.

Кроме того смазочные материалы выполняют и другие функции:

- надежно защищают узлы и механизмы от коррозии, очищают их от загрязнений и продуктов износа, предотвращают образование царапин и задиров;
- при механической обработке деталей отводят тепло из рабочей зоны станка, обеспечивают тщательное удаление стружки и абразивных частиц, чем продлевают срок службы инструмента и оборудования, улучшают качество продукции;
- используются в качестве рабочего тела гидравлических приводов и амортизаторов, изолирующей и теплоотводящей среды в масляных трансформаторах;
- герметизируют зазоры в цилиндропоршневых группах, чем повышают КПД поршневых компрессоров, двигателей внутреннего сгорания.

Основными видами смазочных материалов, используемых в промышленности для обслуживания станков, являются жидкие и консистентные индустриальные смазки на базе минеральных масел.

Синтетические смазочные материалы для автомобилей стоят в 2 – 3 раза дороже минеральных, но имеют настолько высокие эксплуатационные показатели, что владельцы автотранспорта массово переходят на их использование.

Смазочные материалы классифицируются по различным критериям:

- по агрегатному состоянию – на жидкие, пластичные (консистентные), твердые, газообразные;
- по материалу основы – на минеральные, синтетические, полусинтетические, органические (животные и растительные);

- по назначению – на индустриальные, гидравлические, моторные, трансмиссионные, компрессорные и т.д.

В Европе есть 2 классификации, разработанные (NLGI). National Lubricating Grease Institute (NLGI) - Национальный институт пластичных смазок (США) разработал классификацию смазок, которая приобрела международный статус. Используются для смазывания элементов ходовой части и шарнирных соединений легковых автомобилей и других транспортных средств с легким режимом работы

Классификация по вязкости разбивает смазки на 9 классов по величине пенетрации. Величина пенетрации вычисляется путем погружения металлического конуса в пластичную смазку.

Чем больше в течение заявленного отрезка времени опустится конус – тем ниже класс NLGI, мягче смазка. Это не очень хорошо – мягкая смазка будет легко выдавливаться из зоны трения. А если класс NLGI велик, то очень густая смазка будет весьма неохотно возвращаться в зону трения и сопротивляться нагрузкам.

Другая классификация определяет 5 классов пластичным смазкам исходя из областей применения в автомобилях.

Смазки делятся по консистенции на *полужидкие, пластичные и твердые*

По составу смазки выделяют 4 группы:

1. *Мыльные*. Загустителями могут быть соли карбоновых кислот (мыла). Кальциевые, литиевые, бариевые, алюминиевые и натриевые смазки. Исходя из жирового сырья, мыльные смазки могут называться условно синтетическими (если основа – синтетические жирные кислоты), или жировыми (если основа – природные жирные кислоты)

2. *Неорганические*. Загустителями могут быть термостойкие вещества. Силикагелевые, бентонитовые, графитные смазки

3. *Органические*. Чтобы изготовить такие смазки применяют термостабильные вещества. Полимерные, пигментные, полимочевинные, сажевые смазки

4. *Углеводородные*. Для загущения применяют тугокоплавкие углеводороды: петролатум, церезин, парафин, воск

4.2 Жидкие, пластичные и твердые смазочные материалы, их классификация и области применения.

Наименее популярными смазочными материалами являются газообразные. Расходы на разработку газообразного или воздушного

смазочного материала очень высоки. У них узкое применение, однако они имеют свою нишу в энергетике. В данном пособии они подробно рассматриваться не будут.

Газообразные смазочные материалы - индивидуальные газы, их смеси и пары некоторых соединений (например, пары углеводородов). При высоких (более 250-300 °С) и криогенных температурах, высоких удельных нагрузках, интенсивных ионизирующих излучениях способствуют уменьшению трения и износа поверхностей в ракетных двигателях, системах регулирования и обслуживания ядерных реакторов и др.

К ним принадлежат: воздух, углекислый газ, азот, инертные и другие газы. Они используются в высокооборотных газодинамических (газостатических) подшипниках для создания несущего (поддерживающего) слоя, разделяющего подвижные детали. Углекислый и другие газы применяются в условиях, где существует достаточно активное окисление в воздушной среде элементов трибосистемы.

Воздух (газ) также может использоваться для образования масляного тумана (аэрозолей), который подается под давлением в зону трения.

В зависимости от нагрузки они выполняют следующие задачи:

- отвод тепла;
- защита поверхностей;
- пропускание тока;
- удерживание от попадания инородных веществ;
- отвод частиц, вызывающих износ.

Жидкие смазки наиболее популярны в промышленности, и в энергетике в частности.

К жидким смазкам относятся:

- Жирные масла
- Минеральные масла
- Синтетические масла

По составу базовое масло может быть:

- минеральным — сложная смесь углеводородов, полученных из нефти;
- синтетическим — органические соединения, полученные в результате целенаправленных химических реакций. Это углеводородные жидкости (полиальфаолефины, алкилбензолы) и эфиры;

- полусинтетическим — смесь высококачественного минерального базового масла и синтетических базовых компонентов.

Жирные масла не очень подходят для смазки. Хотя они и обладают хорошим смазывающим эффектом, они неустойчивы к низким температурам и чувствительны к окислителям. В технических областях бесспорными лидерами являются минеральные масла.

В наше время все большее значение приобретают синтетические масла, полученные методами химического или нефтехимического синтеза. Имеют существенные преимущества перед минеральными маслами (широкий диапазон рабочих температур, устойчивость в вакууме, стойкость к сильным окислителям отсутствие реакции резинами), которые позволяют использовать их в сложных условиях, когда минеральные масла сложно применить: в двигателях современных самолётов, вертолётов и ракет, в высоковольтном электрооборудовании. Применяются также для электроизоляции и в качестве теплоносителей.

Их преимущества:

- повышенная устойчивость к окислению;
- устойчивость к низким и высоким температурам;
- долговременная смазка, смазка на весь срок службы изделия.

Различные типы синтетических масел обладают различными специальными свойствами:

- слабой зависимостью вязкости от температуры (изопарафиновые, полиорганосилоксановые, полиалкиленгликолевые, эфирные масла);

- малой испаряемостью (полиорганосилоксановые, полиалкиленгликолевые, пентаэритритовые, хлорфторсодержащие);

- работоспособностью при низкой температуре (алкилбензольные, полиорганосилоксановые, полиалкиленгликолевые)

- устойчивостью к воспламенению (на основе эфиров фосфорной кислоты, фтор- и хлорфторсодержащих углеводородов);

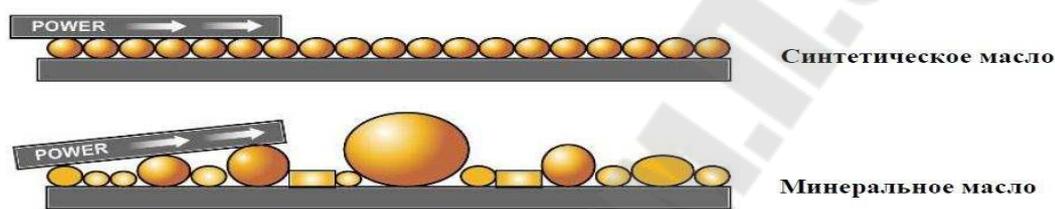
- противоизносными свойствами (пентаэритритовые, полиалкиленгликолевые, полифениловые);

- устойчивостью к высокой температуре (полиорганосилоксановые, полиалкиленгликолевые, пентаэритритовые, особенно устойчивы полифениловые и фторсодержащие);

- химической инертностью (полиорганосилоксановые, полиалкиленгликолевые, полифениловые, хлорфторсодержащие);
- устойчивостью к радиоактивному облучению (полифениловые и хлорфторсодержащие).

Распространение синтетических масел сдерживается в основном их более высокой стоимостью по сравнению с минеральными маслами (рис.4.1).

Преимущества синтетических масел



Когда молекулы имеют одинаковый размер, требуется меньше энергии для поступательного движения.

Рис. 4.1. Преимущества синтетических смазок

По назначению они подразделяются на: моторные, трансмиссионные, промышленные, турбинные, электроизоляционные, консервационные, компрессорные и др.

Трансформаторные масла применяются для заполнения энергетического оборудования (трансформаторов, масляных выключателей, вводов и т.д.) в качестве жидкого диэлектрика. В масляных выключателях масла служат для гашения электрической дуги, возникающей между контактами выключателя при коротком замыкании. Основное назначение масла - обеспечивать надежную защиту трансформатора. Они характеризуются:

- низким тангенсом угла диэлектрических потерь, на величину которого влияет глубина очистки масла от полярных соединений;
- высокой диэлектрической прочностью, величина которой определяется наличием механических примесей и воды, а также полярных соединений;

- высокой стабильностью против окисления, т.е. способностью масла сохранять физико-химические параметры в ходе эксплуатации;
- низкой вязкостью при отрицательных температурах, так как при значительном повышении вязкости масла при низких температурах в трансформаторе будет затруднен отвод теплоты от его обмоток, что приведет к их перегреву.

Электроизоляционные масла используются для изоляции токонесущих частей электрооборудования. Выполняют функции диэлектрика и теплоотводящей среды. Применяются в трансформаторах, конденсаторах и для пропитки кабелей — по этим условиям применения и делятся на три подгруппы. Важными эксплуатационными свойствами этих масел являются низкие диэлектрические потери и малая проводимость, высокая электрическая прочность и газостойкость в электрическом поле

Турбинные масла. Очевидно, что антиокислительные свойства являются ключевыми с точки зрения срока службы турбинных масел, постоянно работающих при повышенных температурах. Благодаря применению современных противоизносных присадок турбинные масла обеспечивают очень высокую защиту от износа оборудования.

Высокие деаэрирующие свойства являются другим важным преимуществом данной серии масел. В процессе циркуляции в различных узлах турбоагрегатов масло неизбежно захватывает пузырьки воздуха. Хорошее масло должно очень быстро высвободить эти пузырьки, иначе в масляной пленке на трущихся поверхностях будут возникать зоны сухого трения, давление масла из-за сжатия пузырьков в каких-то зонах трения не будет достигать нормативного; все это вместе может резко сократить срок службы оборудования. Очень важным является и эффективное отделение воды или, иными словами, хорошая деэмульгация. В процессе работы особенно паровых турбин содержание воды может вырастать до 2% и более. Высокое содержание воды, разумеется, вызывает активную коррозию стальных элементов и деталей турбин. Турбинные масла должны иметь в своем составе очень эффективные деэмульгирующие и антикоррозионные присадки.

Компрессорные масла. Основным эксплуатационным свойством масел, обеспечивающим долговечную, эффективную и безопасную работу компрессоров, является их термоокислительная стабильность и способность предотвращать или сводить к минимуму образование

коксаобразных масляных отложений в нагнетательных линиях компрессоров. Основной причиной пожаров, возникающих в смазываемых маслом компрессорах, является образование твердых продуктов распада и уплотнения масла при его эксплуатации, иногда по аналогии с отложениями в двигателе называемых нагаром. Требования к термической стабильности компрессорных масел возрастают в зависимости от температуры нагнетания компрессора. Применительно к компрессорным машинам вязкость является одной из основных эксплуатационных характеристик масла. От вязкости зависят потери энергии на трение, износ поверхностей трения деталей, уплотнение поршневых колец, время запуска компрессора, температура поверхностей трения.

Вакуумные масла. Вакуумное масло должно иметь пониженную упругость пара при рабочих температурах в насосе и термическую стойкость, и быть химически инертным к откачиваемым газам и кислороду воздуха. Качественные показатели вакуумных масел для механических насосов оцениваются по следующим критериям: – достаточно пониженное давление насыщенных паров (он влияет на степень достигаемого вакуума и испаряемость масла); – повышенная гидролитическая стабильность при откачивании воздуха и паров; – оптимальная вязкость в определенных случаях (ей косвенно определяются уплотняющие и смазочные свойства рабочих жидкостей); – экологическая безопасность; – небольшая газорастворимость.

Гидравлические масла - важный конструкционный элемент любой гидравлической системы, основная задача масел состоит в передаче энергии. Гидравлические масла созданные на основе высококачественных базовых масел способны обеспечить высокую эффективность работы гидравлической системы в широком диапазоне условий эксплуатации, гарантируют высочайший уровень защиты узлов системы, позволяют минимизировать количество обслуживаний в год, сокращают время простоя и увеличивают ресурс оборудования электростанций

Моторные масла для двигателей, работающих на газообразном топливе. Масла, разработанные специально для газомоторных установок, предотвращают преждевременную нитрацию, окисление, образование углеродистых отложений и задиры связующих элементов двигателей, что значительно продлевает срок их службы. В стационарных газовых двигателях преимущественно используются универсальные масла для любых условий эксплуатации. Они

обеспечивают полноценную смазку двигателя даже при экстремальных температурах.

Моторные масла для дизель-генераторных установок. Дизельные моторные масла предназначены для надежной защиты и повышения производительности стационарных дизель-генераторных установок, в том числе морских агрегатов, работающих на дизельных или более тяжелых видах топлива с высоким содержанием серы.

Трансмиссионные (редукторные) масла. Редукторные смазочные материалы Техасо, произведенные из высококачественных базовых масел, выполняют возложенные функции даже в условиях экстремальных температур и нагрузок, обеспечивая минимальные потери на трение и максимальную защиту от износа как в закрытых, так и в открытых системах.

Существует несколько классификаций моторных и трансмиссионных масел:

- классификация Американского общества автомобильных инженеров (SAE) предусматривает деление по вязкости на зимние, летние и внесезонные масла;
- классификация Американского института нефти (API) учитывает условия применения и уровни эксплуатации. В обозначении вначале буквой указывается тип двигателя — бензиновый или дизель, цифрой — цикличность работы двигателя — четырехтактная или двухтактная;
- отечественная классификация в обозначение включает класс масла по вязкости, тип присадки, вязкость масла, тип двигателя — бензиновый или дизель.

Необходимо отметить и жидкости на основе масел, имеющие технологическое назначение.

Масла- теплоносители. Энергетика многих современных химических процессов и некоторых производств синтетического волокна основана на применении жидких теплоносителей (иначе: масло-теплоноситель, теплоносительное масло, термомасло). На ряде таких производств применяют нетоксичные нефтяные масла-теплоносители, отличающиеся достаточно высокими термической стабильностью и температурой самовоспламенения. Высокотемпературные нефтяные термомасла, работоспособные до 280-300°C, представляют собой продукты глубокой переработки нефти, в которых благодаря технологическим

процессам достигается высокое содержание ароматических углеводородов.

Огнестойкие гидравлические жидкости. Огнестойкие гидравлические жидкости разработаны для обеспечения высокой степени надёжности и безопасности гидравлических систем, работающих рядом с горячими поверхностями и открытым пламенем, где существует опасность возгорания.

Охлаждающие жидкости и ингибиторы коррозии. Охлаждающие жидкости для энергетической отрасли обеспечивают высокий уровень защиты системы охлаждения всех типов двигателей, отлично справляются со своими задачами в широчайшем диапазоне рабочих температур. Обладают улучшенными охлаждающими свойствами и имеют увеличенный срок службы.

Пластические деформации и трение, возникающие в процессе резания, вызывают высокие давления и температуры в зоне контакта обрабатываемой детали и режущего инструмента. Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) способствуют уменьшению тепловыделения (за счёт облегчения процесса стружкообразования и уменьшения трения), поглощают и отводят часть выделенной теплоты, снижая тем самым температуру резания. К этому необходимо добавить моющее действие СОТС при удалении стружки и различного рода частиц из зоны резания. СОТС делят на следующие группы: охлаждающие газы; смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ); пластичные смазочные материалы; твёрдые технологические смазки.

В ряде случаев применение СОЖ затруднено, недопустимо или не обеспечивает требуемого технологического эффекта. В таких случаях применяют твёрдые технологические смазки.

Важнейшими *свойствами* (качественными характеристиками) смазочных масел являются:

- плотность,
- вязкость;
- зависимость вязкости от температуры (оценивается индексом вязкости или температурно-вязкостным коэффициентом);
- маслянистость (липкость, смазывающая способность) — способность масел прилипать к твердой поверхности с образованием на ней тонкой прочной масляной пленки, называемой граничным слоем; температура застывания;

- химическая стойкость (термоокислительная стабильность) - не взаимодействие с кислородом при высоких температурах (50 — 60 °С);
- коксуемость - способность образовывать кокс в условиях высоких температур и давления и без доступа воздуха;
- температура вспышки, при которой пары смазочных масел, образуя горючую смесь с воздухом, вспыхивают при поднесении к ним пламени.

Масла состоят из базового масла (80 — 90 %) и пакета присадок (10 — 20%), от природы и соотношения которых зависят их ассортимент и набор потребительских свойств (рис.4.2).



P

Рис. 4.2. Виды присадок

Пакет присадок, как правило, составляют:

- загущающие — стабилизируют вязкость масла в условиях изменения температуры;
- моющие (детергенты) — уменьшают и предотвращают образование высокотемпературных отложений;

- диспергирующие (дисперсанты) — поддерживают загрязнения, проникшие в масло, в мелкодисперсном взвешенном состоянии;
- антиокислительные и антикоррозионные — снижают скорость окисления и образования в масле нерастворимых, а также коррозионно-активных продуктов;

- противозадирные и противоизносные — предотвращают разрушение контактирующих поверхностей при граничном трении за счет образования защитных пленок;

- депрессорные — понижают температуру застывания масла;
- ингибиторы коррозии — предотвращают коррозию деталей из черных металлов;

- антифрикционные — уменьшают трение;

- противопенные — предотвращают вспенивание.

Один из самых распространенных видов смазочных материалов — это пластичные смазки. Их выпуск составляет около миллиона тонн ежегодно.

Пластичные смазки (консистентные смазки) могут демонстрировать свойства жидкости или твердых тел исходя из нагрузки.

Состав пластичных смазок: жидкое масло, твёрдый загуститель, присадки, добавки.

Пластичные смазки имеют ряд преимуществ перед смазочными маслами, что делает их применение во многих случаях более эффективным и оправданным.

Для многих пар трения использование твердых пластичных смазок целесообразнее, чем применение смазочных масел. Густая консистенция позволяет смазкам дольше удерживаться в рабочей зоне, а их суммарный расход при эксплуатации меньше.

Пластичные смазки обладают рядом преимуществ перед жидкими маслами:

- не теряют своих свойств под влиянием температур и воды;
- обладают меньшим коэффициентом трения;
- характеризуются более высокой адгезией к поверхностям трения;

- проявляют отличные характеристики под давлением;

- позволяют избежать загрязнения чистых продуктов и т.д.

Благодаря жесткому молекулярному «каркасу» пластичные смазки при относительно небольших касательных напряжениях ведут себя как твердые тела. Когда же напряжение достигает критической

точки (предела прочности на сдвиг), «каркас» смазки нарушается, и она приобретает свойства жидкости. После того, как нагрузки снижаются, «каркас» восстанавливается – смазка возвращает свойства твердого тела. В этом состоит главное отличие пластичных материалов от масел, которые представляют собой нормальные жидкости, естественным образом вытекающие из недостаточно герметичных узлов даже при приложении небольших сил.

По типу основы пластичные смазки могут быть:

- на нефтяных маслах — полученные переработкой нефти; на синтетических маслах — синтезированные;
- на растительных маслах — полученные переработкой натуральных продуктов;
- на смеси нефтяных и синтетических масел.

По природе загустителя пластичные смазки классифицируются следующим образом:

- мыльные, для их производства в качестве загустителя применяют мыла, они подразделяются на натриевые, кальциевые, алюминиевые, литиевые, комплексные, составляют более 80 % всего производства смазок;
- углеводородные, для их производства в качестве загустителя используют парафин, церезин, петролатум;
- неорганические, для их производства в качестве загустителя используют силикаты;
- органические, для их производства в качестве загустителя используют сажу и полимеры.

Любая пластичная смазка изготавливается путем добавления к смазочным маслам различных загустителей, выполняющих функции выше обозначенного «каркаса». В качестве базовых масел (дисперсионной среды) обычно используются минеральные масла малой и средней вязкости, а в качестве загустителей – металлические мыла. Количество загустителя обычно не превышает 20% от общей массы материала.

Элементы загустителя пластичных смазок имеют коллоидную форму, формируют структуру, в ячейках структуры удерживается дисперсионная среда (масло).

Если температура среды обычная и нагрузки невелики, то смазка становится твердым телом – сохраняет изначальную плотную форму. А если нагрузка растет, то смазка изменяется, "подстраиваясь" под новые условия – она становится жидкой и течет. Когда же

нагрузка идет на убыль, пластичная смазка снова затвердевает. Это заметно упрощает конструкцию и уменьшает вес узлов трения, не говоря уже о экологическом факторе.

Пластичные смазки классифицируются по типу загустителя. Самые распространенные - это мыльные пластичные смазки, загущенные кальциевыми, литиевыми, натриевыми мылами высших жирных кислот. Рабочий предел гидратированных кальциевых пластичных смазок (солидолов) равен +60...+80 °С, натриевых - +110 °С, эксплуатация литиевых и комплексных кальциевых смазок допустима до +120...+140 °С. Доля углеводородных пластичных смазок, загущенных парафином и церезином, составляет всего 10-15 % от производства пластичных смазок. Они обладают низкой температурой плавления (+50...+65 °С) и применяются, как правило, для консервации металлоизделий.

Производят пластичные смазки путем добавления в нефтяные или синтетические масла 5-30 (обычно 10-20) % твёрдого загустителя. Весь процесс изготовления состоит из стадий. Сначала в котлах готовят расплав загустителя в масле. Когда он охлаждается, то кристаллизуется – внешне это напоминает сетку мелких волокон. При процессе выработки состав ряда пластичных смазок обогащается присадками (антиокислительными, антикоррозионными, противозадирными) или твердыми добавками (антифрикционные, герметизирующие).

В целях предотвращения окисления смазки, улучшения ее вязкостно-температурных и других свойств в состав вводятся различные присадки и твердые наполнители (графит, дисульфид молибдена и пр.). Последние значительно улучшают антифрикционные свойства смазок. Из-за увеличения нагрузки и требований к эксплуатации узлов трения в современные пластичные смазки добавляют присадки и наполнители.

Присадки бывают: *противоизносные, противозадирные, антифрикционные, защитные, вязкостные, адгезионные.*

Некоторые из присадок оптимизируют сразу несколько свойств.

Что может быть наполнителем? Очень часто используют графит, дисульфид молибдена, полимеры (у них малый коэффициент трения). Если нужна смазка для тяжело нагруженного узла (трение скольжения), то берутся резьбовые уплотнительные или антифрикционные смазки с добавлением оксидов цинка, титана, алюминия, олова, бронзы, латуни.

Как правило, такие наполнители составляют от 1 до 30 % от смазки.

Немалой проблемой является совместимость смазок с разным составом.

В качестве структурного компонента пластичных смазочных материалов может выступать вода. Например, в кальциево-натриевых смазках ее содержание колеблется в пределах от 0,5 до 5%. Причем на коррозионных свойствах материалов это не сказывается. В большинстве других смазок примесь воды является случайной и недопустимой.

Для полной и всесторонней оценки качеств пластичных смазок необходимо учитывать большое количество их свойств и сложность «поведения» во время эксплуатации. Основные свойства пластичных смазок и их расшифровка представлены в таблице.

Таблица 4.1

Основные свойства пластичных смазок

Свойства	Определение
Прочность	<p>Должна быть достаточной, чтобы смазка не сбрасывалась с поверхностей трения и не вытекала из узлов. Чем ниже предел прочности, тем мягче смазка. Слишком высокая прочность препятствует поступлению смазки в зону трения, что может привести к заеданию узлов.</p>
Вязкость	<p>Поведение смазки в узлах трения в момент приобретения ею свойств жидкости. Вязкость смазки – величина непостоянная, зависит от скорости деформации: чем она выше, тем вязкость ниже. Изменяющаяся вязкость пластичных смазок способствует снижению энергетических потерь.</p>
Теплостойкость	<p>Смазка теряет свойства твердого тела, распаясь на масло и загустители, при достижении определенной температуры (температуры каплепадения). У всех смазок она разная.</p>

Продолжение табл. 4.1

<p>Морозостойкость</p>	<p>Определяется способностью смазки восстанавливать свой «каркас» при низких температурах или не застывать. Смазка с низкой морозостойкостью при отрицательных температурах не позволяет трущимся деталям взаимно перемещаться либо расслаивается при критических нагрузках и теряет способность проникать в зону трения.</p>
<p>Механическая стабильность</p>	<p>Способность смазки сохранять свойства после деформации. Изменение свойств смазки зависит от интенсивности и продолжительности воздействия. Механически нестабильные смазки не следует применять в негерметичных узлах трения.</p>
<p>Физико-химическая стабильность</p>	<p>Способность смазки сохранять состав и свойства в результате испарения, самопроизвольного выделения дисперсионной среды или окисления.</p>
<p>Водостойкость</p>	<p>Устойчивость смазки к смыванию водой и растворению в ней. Водостойкие смазки не поглощают воду и не вступают с ней в химическую реакцию.</p>
<p>Адгезия</p>	<p>Связь между смазкой и поверхностью, на которую она наносится. Материал с хорошей адгезией липкий на ощупь, трудно стирается и смывается.</p>
<p>Противозадирные свойства</p>	<p>Способность смазки предотвращать заедание и задиры трущихся поверхностей в условиях высоких удельных нагрузок.</p>
<p>Противоизносные свойства</p>	<p>Способность смазки снижать износ трущихся деталей.</p>

Противокоррозионные свойства	Отсутствие коррозионного влияния смазки на металлические поверхности, а также способность предохранять эти поверхности от коррозии под влиянием факторов внешней среды (консервационные свойства)
------------------------------	---

Важнейшими свойствами (качественными характеристиками) консистентных смазок являются: пенетрация (консистенция) — степень густоты смазки (измеряется с помощью пенетromетра посредством погружения в смазку конуса, оценивается числом пенетрации, выраженным в десятичных долях миллиметра); температура каплепадения (плавления), при которой смазка переходит в жидкое состояние, характеризует верхний предел рабочей температуры смазки; химическая и механическая стабильность; коллоидная стабильность — стойкость смазок против распада на жидкую и твердую фазы; термическая стабильность — способность сохранять свою структуру и свойства при длительном нагревании. Наиболее известные консистентные смазки — солидол, графитная смазка, литол и др. (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Типы пластичных смазок

По задачам и сферам применения выделяют типы пластичных смазок:

- *антифрикционные смазки* уменьшают трение скольжения и снижают износ, сфера использования: подшипники качения, подшипники скольжения, шарниры, зубчатые и цепные передачи, транспортные и сельскохозяйственные машины;
- *консервационные смазки* осуществляют антикоррозионную защиту металлических изделий, они свободно удаляются с трущейся поверхности при расконсервировании детали;
- *уплотнительные пластичные смазки* включают в себя арматурные смазки, резьбовые смазки (смазка для резьбовых соединений), вакуумные смазки.

Твёрдые технологические смазки (смазочные материалы) применяются при для механической обработке металлов. Используются на операциях точения, сверления, резбонарезания, зенкерования, развёртывания, шлифования материалов с хорошей обрабатываемостью и труднообрабатываемых материалов (нержавеющая сталь, титан, титановые сплавы, медные и алюминиевые сплавы).

Твёрдые технологические смазки применяют в следующих случаях:

- при обработке, требующей визуального контроля (обработка мелких отверстий);
- при нарезании резьбы в металлах, склонных к сильному налипанию на режущий инструмент;
- при обработке титановых и нержавеющей сталей и сплавов;
- при обработке пластмасс и керамики;
- при шлифовании станин торцом круга, зубошлифовании тарельчатыми кругами, заточке лезвийного инструмента;
- при обработке металлов и сплавов, склонных к трещинообразованию.

В состав твёрдых технологических смазок входят специальные противоизносные модификаторы, присадки и наполнители, снижающие трение и температуру в зоне резания, что позволяет в несколько раз увеличить ресурс работы инструмента и повысить качество обработанной поверхности.

Применение твёрдых технологических смазок (рис.4.4) в десятки раз экономней традиционных смазочных средств, за счёт

оптимальной концентрации минимального количества смазки в строго определённом месте.



Рис. 4.4. Твёрдая технологическая смазка, разработанная в Boeing

Твёрдые технологические смазки наносят методом касания на режущий инструмент перед обработкой, последующие нанесения производят по мере необходимости.

Лидером в разработке и применении технологических твёрдых смазок является авиакосмическая корпорация Boeing. Корпорация выпускает твёрдые технологические смазки для собственных нужд и для реализации различным потребителям.

Твёрдые технологические смазки, как и большинство изобретений 20-го века, являются продуктом научных исследований в области космонавтики и новых направлений энергетики. Например, трение в космосе происходит в вакууме, при температурах от $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$, под действием излучения, пучков ионов и тяжёлых частиц и других неблагоприятных факторов. В таких условиях смазка испаряется или замерзает, адсорбированные граничные плёнки и оксиды разрушаются, а поверхности металлов в контакте схватываются. Было много случаев отказов техники из-за такого схватывания. Повышенное трение в контейнере парашюта закончилось гибелью космонавта В. М. Комарова (1967), а стыковка «Союза-10» с «Салютом» (1970) не удалась из-за схватывания контактного узла. Поломка платформы американского «Вояджера-2» (1981) произошла из-за разрушения смазочного покрытия в зубчатой передаче. Подобные отказы имели место на европейских спутниках: «Инсат 1» (1982), «ТВсат 1» (1987), «ТСС» (1992), «ЕТС» (1995),

«Галилео» (1989), «Магеллан» (1990). На МКС (1998) произошла поломка стыковочного узла из-за схватывания шарниров. Японская космическая программа уже в нашем веке потеряла три ракеты-носителя из-за неправильной конструкции подшипников двигателей.

Внимание исследователей обратилось к твёрдым смазкам. Смазочная способность графита давно использовалась в щётках электрических машин. Однако ещё при создании самолётов для больших высот было обнаружено, что графит теряет это свойство в разреженной атмосфере и не сможет работать в вакууме. Ценной находкой для космической техники оказался дисульфид молибдена, который работоспособен в вакууме до 1100 °С. Очень высокая несущая способность (до 2800 МПа), высокая радиационная стойкость и теплопроводность, сохранение антифрикционных свойств в вакууме до температур 800 °С сделали дисульфид молибдена одним из главных материалов узлов трения космической техники.

Кроме дисульфида молибдена антифрикционные свойства проявляют селениды, сульфиды и теллуриды тугоплавких металлов — вольфрама, молибдена, ниобия, титана и тантала. Дисульфид вольфрама WS_2 обладает ещё большей термостойкостью на воздухе и образует на поверхности плёнку с втрое большей несущей способностью и чрезвычайно стойкую к воздействию агрессивных сред. В вакууме он работоспособен до температур более 1300 °С и обеспечивает коэффициент трения ниже 0,05. Но и стоит он в несколько раз дороже.

Продолжающиеся научные исследования в области нанотехнологий позволяют совершенствовать состав твёрдых технологических смазок, увеличивая тем самым, эффект от их применения.



Рис. 4.5. Нанесение твёрдой технологической смазки на фрезу

Твёрдые технологические смазки имеют ряд преимуществ по сравнению с другими смазочными средствами:

- в несколько раз повышают стойкость инструмента;
- повышают чистоту обрабатываемой поверхности;
- не вызывают коррозии обрабатываемого изделия;
- легко удаляются с деталей после обработки;
- не загрязняют рабочее место;
- незаменимы при обработке наклонных и вертикальных поверхностей;
- удобны для нанесения на инструмент (рис.4.5);
- не токсичны;
- при работе на повышенных скоростях не разлагаются с выделением вредных газов.

В качестве наполнителя в твёрдых технологических смазках может быть использован нефтяной церезин, парафиновая кислота по и стеариновая кислота. В качестве основного компонента используют специальные ресурсовосстанавливающие вещества и противоизносные модификаторы.

Сухие смазки обеспечивают низкое трение благодаря своей слоистой структуре со слабыми связями на молекулярном уровне. Такие уровни могут скользить относительно друг друга при минимальном применении силы, что и позволяет им обеспечивать низкое трение между поверхностями. Однако сама по себе слоистая кристаллическая структура не является обязательным условием для смазывания (рис.4.6).

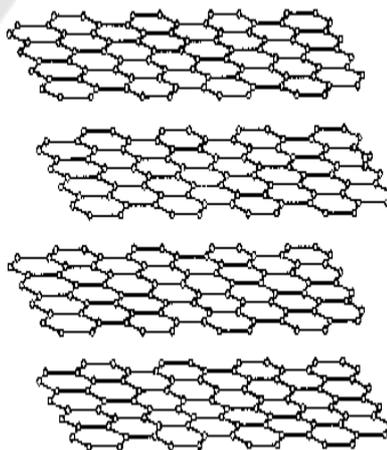


Рис. 4.6. Слоистая структура графита

Есть некоторые твердые вещества с неслоистой структурой, которые хорошо функционируют в качестве сухих смазок в определенных областях применения, такие как политетрафторэтилен (ПТФЭ или Teflon®).

В идеале, было бы удобно смазывать все устройство одним типом смазки, однако в реальном мире одним видом смазки не обойтись. Различные элементы, ввиду различных условий работы требуют разных видов смазки. К примеру, при определенных условиях (большие нагрузки, низкая скорость, высокие температуры) оптимальным смазывающим веществом для шариковых подшипников будет смазка содержащая молибден или графит.

Прямозубые или косозубые зубчатые зацепления испытывают как трение качения, так и трение скольжения и могут смазываться маслом и смазкой с вязкостью 150-220 сантистоксов по ISO. Червячная передача работает в более жестких условиях трения скольжения и требует масло с большей вязкостью. Уплотнительные кольца и соединения типа металл-резина смазываются силиконовыми смазками, которые сохраняют эластичность резиновых частей и хорошо ведут себя в изменчивых условиях.

Исходя из этого, нужно понимать, что элементы устройства находящиеся в разных условиях и сделанные из разных материалов не могут быть смазаны одним видом смазки. Различные материалы требуют определенных видов смазки, например, детали, выполненные из меди, серебра или латуни могут реагировать или разрушаться при контакте с некоторыми смазками, содержащими активные сернистые элементы (рис.4.7).



Рис.4.7. Типы смазки

4.3 Методики и оборудование для испытания смазочных материалов.

Основные показатели смазочных материалов

- вязкость, индекс вязкости;
- зольность, сульфатная зольность;
- испаряемость;
- кислотное число;
- коксуемость;
- коррозионность;
- массовая доля активных элементов, массовая доля воды;
- массовая доля механических примесей;
- механическая стабильность;
- моющие свойства.

Определяемые показатели

- вязкость, индекс вязкости;
- зольность, сульфатная зольность;
- испаряемость;
- кислотное число;
- коксуемость;
- коррозионность;
- массовая доля активных элементов, массовая доля воды;
- массовая доля механических примесей;
- механическая стабильность;
- моющие свойства;
- моющий потенциал;
- плотность;
- склонность к пенообразованию;

- совместимость с резиновыми уплотнениями;
- стабильность по индукционному периоду (ИПО);
- степень чистоты;
- температура вспышки;
- температура застывания;
- термоокислительная стабильность;
- трибологические свойства;
- цвет по ЦНТ;
- щелочное число.

Методы определения смазывающих свойств.

Старение масла является большой проблемой. Со временем масло стареет и теряет свои смазывающие свойства, так что узлы начинают работать медленнее и повышается износ. Смазка теряет масло вследствие испарительных процессов, она высыхает и затвердевает.

Также наблюдается такой процесс как разделение смазки на фракции. При этом масла, которое отвечает за смазывающие свойства смазки, отделяются от загустителя и вытекают. Особенно остро эта проблема наблюдается в неподвижных соединениях.

Испытания смазывающих свойств показывают, в какой мере масло выполняет свои основные функции - уменьшает силу трения и предохраняет детали от износа. При испытаниях имитируются реальные условия режимов трения. На практике существует довольно много частных случаев смазывания и поэтому имеется относительно много методов испытаний смазочных свойств.

Наиболее часто моделируется трение скольжения на небольшой поверхности. В ходе испытания постепенно повышается нагрузка и/или скорость скольжения (деформация сдвига измеряется или регистрируется сила трения и ее изменение, а также износ поверхности трения. Из полученных данных рассчитываются критические параметры:

- критическая нагрузка;
- нагрузка сваривания;
- нагрузочная способность масла;
- показатель износа;
- показатель скорости износа;

и др.

Метод четырех шариков. Это наиболее распространенный и информативный метод определения смазывающих свойств масел и смазок. Четырехшариковая машина трения (ЧШМТ) с точечным контактом, была разработана компанией "Shell" (рис.4.8).

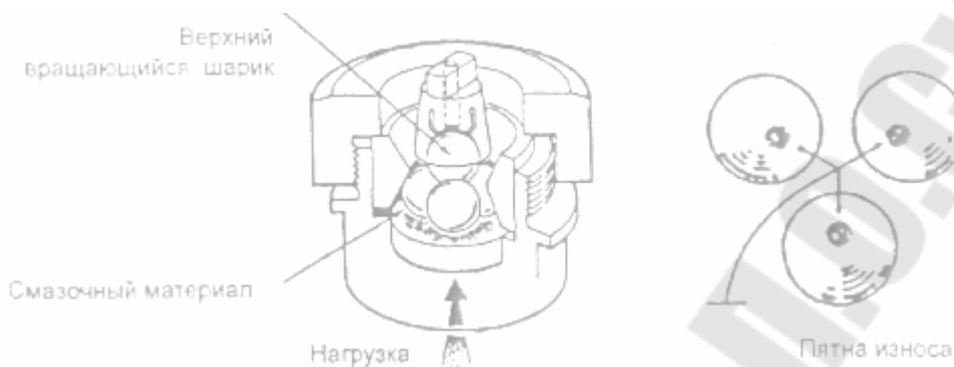


Рис. 4.8. Принцип работы четырехшариковой машины для изучения смазывающих свойств

Методом ЧШМТ определяются:

- характер износа, кривая износа, показатель износа в условиях граничного трения - по пятнам износа шариков;
- критическая нагрузка, нагрузка сваривания и нагрузочная (несущая) способность - по точкам перегиба на кривой износа;
- индекс задира (нагрузки) - по предельному давлению.

Характер изменения степени износа от нагрузки показывает противоизносные свойства масла или смазки при постоянной нагрузке, которая ниже критической. В ходе испытания периодически измеряется диаметр пятен износа на нижних шарах и рассчитывается среднее значение износа (в мм). Зависимость износа (D) от нагрузки (P) характеризуется кривой износа (рис.). Интенсивность износа от начала и до сваривания зависит от способности смазочного материала уменьшать износ и характеризуется индексом задира (нагрузки). В начальном интервале нагрузки износ поверхностей трения происходит в условиях граничного трения и является пропорциональным нагрузке. В этом режиме соотношение между нагрузкой и соответствующим ей износом является постоянной величиной и может характеризовать противоизносные свойства масла или смазки. Индекс нагрузки выражается в ньютонах.

По точкам перегиба кривой износа определяются критические точки износа:

критическая нагрузка - это такая нагрузка, при превышении которой начинается интенсивный износ, вызванный задиром в результате разрушения адсорбционного слоя смазки; критическая нагрузка показывает предельные возможности смазывания масла или смазки и называется несущей способностью;

предельная нагрузка или нагрузка сваривания - это такая нагрузка, при превышении которой шары схватываются (свариваются) (рис.4.9).



Рис. 4.9. Кривая износа, полученная при помощи четырехшариковой машины. Зависимость диаметра пятна износа, d , от нагрузки P

Метод FZG, называемый также Методом Нима (рис.4.10). Это один из основных методов определения противоизносных и противозадирных свойств трансмиссионных масел. Свойства масла определяются при помощи двух цилиндрических шестерней, побуженных в исследуемое масло. Шестерни, находящиеся под нагрузкой прокручиваются о 15 мин при постепенном повышении нагрузки и измерении потери массы шестерен. Испытание заканчивается по достижении потери массы в 10 мг или после 12

циклов (если потери массы не достигают 10 мг). Смазывающие свойства масла выражаются через число и выдержанных циклов повышения нагрузки. Кроме этого, определяется предельная нагрузка, при которой шестерни начинают застревать, она называется ОК нагрузкой и выражается в ньютонах. Аналогичный метод применяется в США - *тест Ридера*.

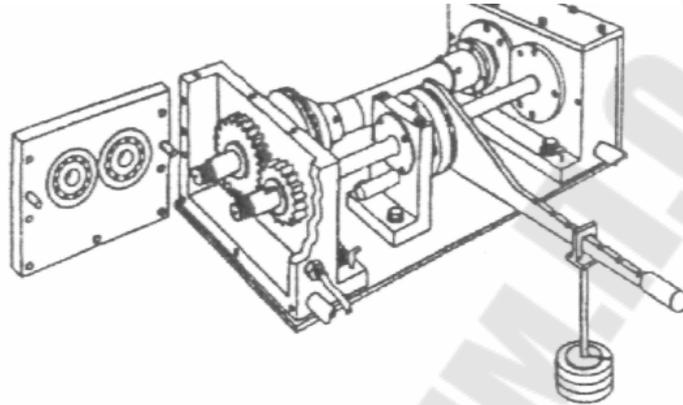


Рис. 4.10. Схема прибора FZG по определению износа шестерней

Метод Тимкен EP (рис.4.11). Этим методом определяются противозадирные свойства масла при предельной нагрузке, т.е. критическую нагрузку задира или Тимкен ОК нагрузка (, которая выражается в ньютонах. Это нагрузка, которую может выдержать масляная пленка на поверхности трения до появления задира в условиях данного эксперимента. Такая нагрузка показывает нагрузочную способность масла.

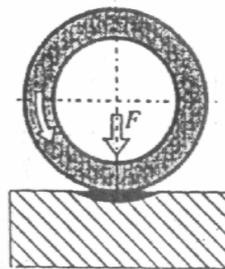


Рис. 4.11.Схема метода Тимкена по определению противозадирных свойств масла

Метод Фалекс имитирует подшипник, который зажимается двумя V-образными зажимами (рис.4.12), изготовленными из высокопрочной стали, т.е. валик зажимается четырьмя

прямолинейными поверхностями - контактами, и прокручивается с постоянной скоростью.

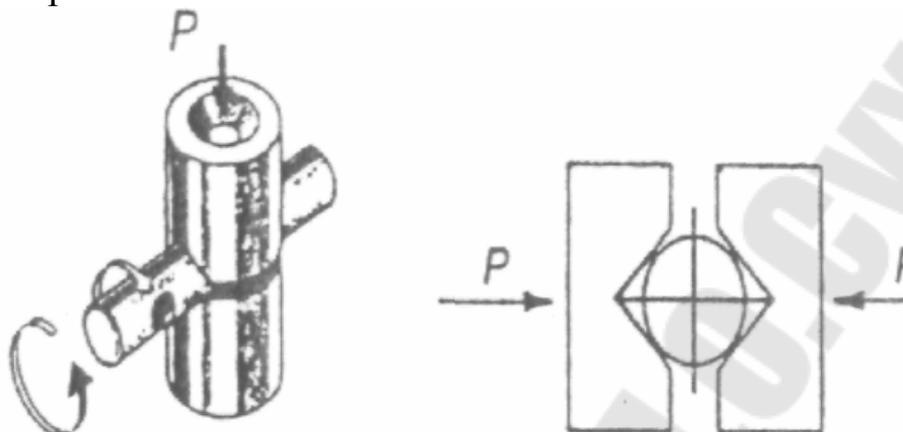


Рис. 4.12. Схема метода Фалекс

Вся эта система погружена в исследуемое масло с установленной постоянной температурой, скорость вращения - 330 об./мин (скорость скольжения - 10,4 см/с). Сила сжатия (нагрузка) может быть увеличена как непрерывно, так и через определенные интервалы. Измеряется сила трения и износ. По полученным данным определяются антифрикционные и противозадирные характеристики масла.

Метод Алмен-Виланд. Метод аналогичный методу Фалекс, но зажимы имеют форму полувтулок и изготовлены из того же металла, что и валик (рис.4.13). В этом случае контактирующая поверхность трения не линейная, а плоская. В ходе испытания при постоянной скорости вращения валика (200 об./мин, скорость скольжения 6,6 см/с), непрерывно увеличивают нагрузку до начала задира или до окончания ресурса прижимной силы. Измеряется сила трения и максимальная нагрузка до начала задира.

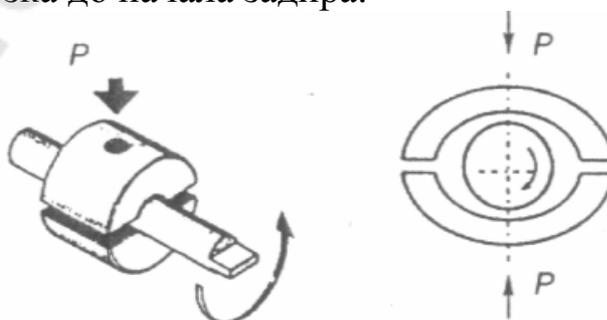


Рис. 4.13. Схема метода Алмен-Виланд

Ни один из приведенных методов не позволяет определить абсолютные параметры трения и износа или подобрать масло для конкретного применения в двигателях внутреннего сгорания, но дает возможность сравнивать качество применяемых присадок в определенных рабочих условиях (малые скорости скольжения и высокие нагрузки). Определение смазывающих свойств моторных масел возможно только при проведении испытаний на реальных двигателях.

Определение стабильности к окислению.

Масло, как и все углеводородные соединения, легко окисляется. Процесс окисления масла ускоряется при:

- повышении температуры;
- увеличении доступа кислорода (в присутствии воздуха);
- каталитическом воздействии ионов некоторых металлов;
- механическом напряжении в условиях большой скорости сдвига и др.

Стабильность к окислению или антиокислительная стабильность - это способность масла противостоять окислению. Окисление углеводородов является многостадийным процессом. В начале окисления накапливаются исходные продукты - перекиси, которые впоследствии резко ускоряют процесс. Этот первый этап окисления фактически не вызывает заметных изменений физических свойств масла и называется индукционным периодом. Его продолжительность служит показателем и кости масла к окислению. Изучение хода реакции окисления по расходу кислорода определяется одним из наиболее простых и точных методов изучения окисления органических соединений. Определяются два показателя - индукционный период расхода кислорода и скорость расхода кислорода после индукционного периода.

После индукционного периода начинаются другие, самоускоряющиеся реакции, заметно изменяющие химические и физические свойства масла. Образуются смолы, увеличивается вязкость масла. Из смол на нагретых поверхностях образуются углеродистые отложения, нагар, лак, накопление которых может привести к повышенному износу, заклиниванию колец, толкателей и др. Кислые продукты окисления способствуют коррозии деталей двигателя. Кроме того, продукты окисления ускоряют старение - резиновых деталей.

Процесс окисления масла в двигателе протекает при высокой температуре. Такое окисление имеет свои особенности и называется *термоокислением* - этот показатель, оценивает стойкость моторного масла к образованию нагара на горячих поверхностях цилиндро-поршневой группы. Испытание проводится путем нагревания металлической поверхности с тонким слоем масла до испарения летучих фракций. Стабильность масла к термоокислению - это время (в мин), в течение которого масло, нагретое до температуры 250 °С превращается в остаток, состоит из 50 % фракций масла и 50 % нагара. Это испытание имитирует реальные условия чистоты моторного масла.

Ход термоокисления, характер продуктов и его последствия в реальных условиях эксплуатации автомобиля являются сложными и зависят от:

- температуры масла и деталей двигателя;
- взаимодействия с продуктами сгорания топлива и др.

Термоокислительные процессы ухудшают эксплуатационные свойства и поэтому стойкость к окислению является одной из основных характеристик масел. Для оценки стойкости к окислению моторных масел, при определении их уровня качества, используют не только лабораторные, но и стендовые (моторные) испытания, которые наиболее близко соответствуют реальным условиям эксплуатации.

Схемы испытания смазочных материалов (рис.4.14).

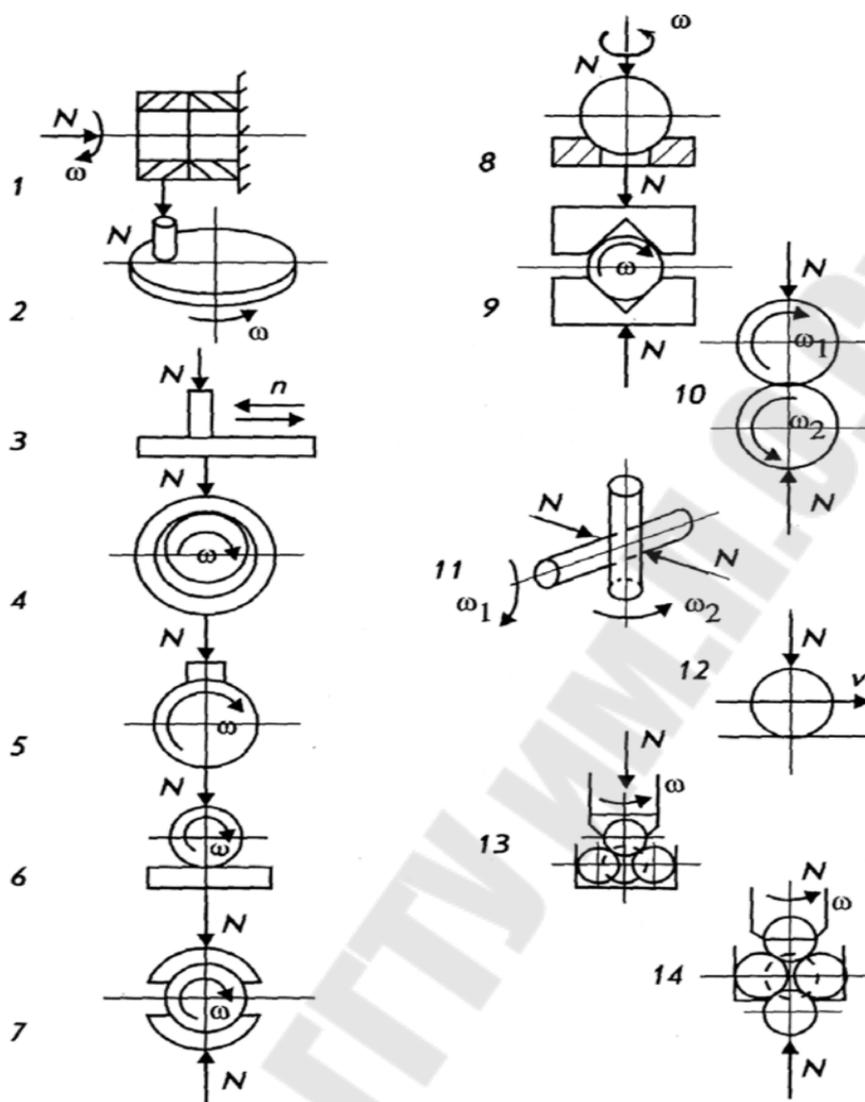


Рис. 4.14. Схемы трения, реализуемые на современных лабораторных установках для трибологических испытаний

Эти режимы трибологического процесса реализуются на машинах трения с различными схемами контакта трущихся образцов.

4.4 Очистка, осушка, восстановление и удлинение срока службы смазочных материалов.

Отработанные смазочные материалы (не соответствующие по показателям) утилизируются, однако утилизация отработанного масла сама по себе требует финансовых затрат, но еще более неэкономичным оказывается одноразовое использование смазочных масел, стоимость которых может быть очень высока в связи со сложностью их производства. Экономичнее проводить регенерацию

смазочных масел при которой из них удаляются скопившиеся загрязнители, и оно может быть использовано повторно и возвращено в систему смазки.

Одним из способов увеличения срока службы масла является очистка. Методы очистки масел разделяются на:

- *физические методы:*
 - отстаивание;
 - сепарация;
 - фильтрация .
- *физико-химические методы:*
 - адсорбция;
 - коагуляция;
 - термовакуумная сушка;
 - селективное растворение.
- *химические методы:*
 - кислотная обработка;
 - щелочная обработка.

Конкретный метод очистки выбирается исходя из характера загрязнения, общего состава масла и требуемой степени очистки. При комплексном загрязнении может быть использовано несколько стадий очистки масла с использованием разных методов. Работает общий принцип, что в первую очередь проводят очистку от наиболее крупных и наиболее легко отделяемых загрязнителей, после чего следует стадия тонкой очистки. Если установка очистки ориентирована на работу с различными сортами масла и видами их загрязнителей, то в ее состав могут входить аппараты очистки различных конструкций, подключаемых в работу по необходимости в зависимости от конкретного случая.

Физические методы. При очистке физическими методами масло не претерпевает каких-либо химических изменений, а процесс осуществляется с применением определенного физического воздействия. Может быть использовано поле гравитационных или центробежных сил, электрическое или магнитное поле и т.д. Также применяются различные теплообменные процессы, фильтрация и вибрационное воздействие. Методы этой группы обычно выступают в качестве вступительной стадии очистки, на которой удаляются механические примеси, жидкие загрязнители (включая воду) и газовые включения. Наиболее распространенные физические методы очистки включают в себя следующие позиции:

- отстаивание;
- сепарация;
- фильтрация.

Отстаивание. Данный метод является наиболее простым в реализации, но имеет небольшую производительность из-за длительности процесса. Отделению подвергаются относительно крупные механические или водные включения, оседающие на дно под действием сил земного притяжения. Отстаивание происходит в аппаратах простой конструкции, называемых отстойниками. Особенности этого метода делают его предпочтительным в качестве предварительного этапа очистки с целью снизить нагрузку на последующие аппараты тонкой очистки.

Сепарация. Это процесс центрифугирования масла, который принципиально схож с отстаиванием, однако вместо относительного слабого поля сил притяжения земли используется поле центробежных сил, значения которых могут быть на несколько порядков выше, что существенно интенсифицирует процесс разделения. Платой за ускорение процесса становится использование более сложного оборудования – центрифуг, требующих дополнительного источника энергии (обычно электродвигатели) для функционирования.

Фильтрация. Она заключается в пропускании загрязненного масла через объем фильтрующего материала, пористая или сетчатая структура которого позволяет ему пропускать компоненты масла и задерживать механические и часть жидких включений. Степень очистки зависит как от размеров отделяемых частиц, так и от размеров пор или ячеек сетки. В качестве фильтрующего материала могут использоваться металлические или пластмассовые сетки, керамика, ткани, бумага и более сложные композитные материалы. Аппарат для проведения фильтрации называется фильтром. Правильный подбор фильтрующего материала позволяет настроить фильтр как для грубой, так и тонкой очистки. Основным недостатком данного процесса является необходимость регенерации фильтрующих перегородок, подверженных закупориванию по ходу применения, либо же их утилизации в случае невозможности восстановления работоспособности. За счет оборудования фильтрации получают возможность увеличить интервалы замены масла, т. к. смазочные материалы теперь заправляются в машины с меньшим уровнем содержания загрязнений. Конечно, намного выгоднее не только фиксировать изменения состояния масла в процессе эксплуатации, но

и активно воздействовать на него, чтобы увеличить его ресурс. Например, по результатам анализов можно предпринимать меры по очистке смазочных материалов с помощью внешней фильтрационной установки типа «искусственная почка». Способ восстановления свойств гидравлического масла путем фильтрации с помощью внешней установки, по аналогии с человеческим организмом именуемой «искусственной почкой», широко известен. Теоретически этим способом можно увеличить срок службы гидравлического масла в 2–3 раза, периодически удаляя из него твердые частицы и влагу, например уменьшая содержание влаги с 1000 до 250 частей на миллион (ppm).

Что касается гидросистем тяжелых строительных машин, то практически для любой машины будет полезно периодически (например, через каждые 2000 моточасов) выполнять фильтрацию гидравлического масла с помощью стационарной или мобильной внешней установки типа «искусственная почка».

Физико-химические методы.

При использовании методов данной группы компоненты масла могут претерпевать частичные химические изменения в ходе очистки. Как правило, они более сложные в реализации и затратные в сравнении с физическими, однако обеспечивают более глубокую и полную очистку масел. Физико-химическими методами очистки являются:

- адсорбция;
- коагуляция;
- термовакуумная сушка;
- селективное растворение.

Адсорбция. Адсорбционная очистка масла заключается в его пропускании через слой адсорбента – высокопористого вещества, структура которого позволяет задерживать в себе ряд растворенных примесей. В качестве такого высокопористого материала могут выступать природные материалы, такие как отбеливающая глина и бокситы, а также специально подобранные материалы, такие как силикагель или окись алюминия. Эффективность адсорбционной очистки сильно зависит от соотношения размеров пор и задерживаемых частиц. Высокая степень очистки данных методов имеет обратную сторону в виде дороговизны производства адсорбирующих материалов, которые в ходе эксплуатации требуют

периодической регенерации, а в худшем случае являются одноразовыми. Природные адсорбенты обходятся дешевле, но и эффективность их заметно уступает искусственным. Аппараты для проведения адсорбции называются адсорберами.

Коагуляция. Метод направлен скорее на усиление эффективности ряда физических методов, так как в его основе лежит принцип слипания и укрупнения (коагуляции) коллоидных частиц загрязнителей масла, неотделимых или трудно отделимых фильтрацией и отстаиванием, которые после укрупнения уже могут быть отделены вышеназванными физическими методами. Для осуществления коагуляции используют ряд физических воздействий (электрический ток, перемешивание, сильный нагрев или охлаждение и т.д.), а также применяют специальные вещества коагулянты.

Термовакuumная сушка. Данным образом из масла удаляется большая часть воды и растворенных газов. В основе метода лежит разность температур кипения воды и масла, что дополнительно усиливается приложением низкого давления к камере, в которой происходит испарение воды. Масло дополнительно рассеивают, чтобы многократно увеличить площадь испарения, чем обеспечивается более полное и быстрое протекание процесса очистки масла. Необходимые для проведения процесса аппараты имеют относительно простую конструкцию и достаточно просты в эксплуатации, однако необходимо контролировать уровень их герметизации и не допускать попадания атмосферного воздуха.

Селективное растворение. Процесс основан на использовании селективных растворителей, которые должны не смешиваться с маслом и значительно лучше растворять в себе те вещества, подлежащие удалению из масла. При смешении масла и растворителя создается развитая поверхность контакта фаз, через которую происходит интенсивный переход загрязнителя из масла в растворитель. Затем фазы разделяются, после чего растворитель также может быть очищен от растворенного в нем загрязнителя и использован повторно для очистки масла. Метод имеет высокую эффективность, однако при наличии в масле присадок, что случается довольно часто, его применение недопустимо, так как в большинстве случаев вместе с загрязнителями в селективные растворители переходят и присадки, из-за чего масло теряет свои основные качества.

Химические методы.

Методы данной группы используют различные реагенты, вступающие в химические реакции с загрязняющими компонентами масла. То есть обязательно наличие химических превращений в масле. Выделяют кислотную и щелочную обработку.

Кислотная обработка. В большинстве случаев применяется серная кислота. Данный метод уже далеко не нов, однако временем подтвердил свою эффективность. Его применяют для удаления асфальто-смолистых веществ, ненасыщенных углеводородов и других соединений, выпадающий в осадок при взаимодействии с серной кислотой. Такой осадок, достаточно легко отделяемый от масла, принято называть кислым гудроном. В качестве завершающей стадии используют щелочную обработку для нейтрализации остатков кислого гудрона и самой кислоты.

Щелочная обработка. Ее используют при сильной изношенности масла, когда требуется удалить различные органические кислоты и эфиры. При этом образуются химические соединения, легко растворяющиеся в воде, что делает эффективной последующую промывку. Как уже упоминалось выше, щелочная обработка может выступать в качестве завершающей стадии кислотной обработки, но также может выступать и в роли самостоятельного этапа очистки масла. 

Восстановление истощившихся присадок в масле. Некоторые владельцы тяжелой техники в процессе работы добавляют в масло присадки, чтобы улучшить значения вязкости и щелочного числа. В результате владелец за счет добавления присадок использует масло на протяжении, например, 60 000 км, тогда как компания-производитель машины рекомендует установить интервал замены масла в 30 000 км пробега. Но какими могут быть последствия такого «восстановления»?

Процесс старения масла похож на старение человеческого организма. В масле, как и в организме человека, под воздействием условий работы и других отрицательных факторов происходят и накапливаются (увы!) необратимые изменения. И чем дольше работает масло в оборудовании, тем меньше эффекта оказывает добавка в него присадок (как и лекарства в организме человека). В результате вязкость масла неуклонно повышается, шлам и коррозионно-активные кислоты действуют на поверхности металлических деталей и подшипников. А при использовании смазочных материалов более низкого качества эти проблемы будут

возникать и нарастать намного быстрее. Присадки могут несколько продлить срок службы масла, но они не могут предотвратить старения и деградации. К тому же добавление присадок может нарушить выверенный баланс в рецептуре смазочного материала.

И тем не менее существует несколько способов восстановления истощившихся присадок, для того, чтобы увеличить интервалы замены масла. Один путь – это восстановление присадок путем введения специальных присадок-концентратов в эксплуатируемое масло. Этот способ обычно применяют к машинам с большим объемом системы смазки, таким как компрессоры и турбины. Однако восстановление содержания присадок должно выполняться после того, как лабораторные анализы подтвердят, что введение дополнительного вещества не ухудшит других эксплуатационных характеристик смазочного материала. Иногда устройства-дозаторы, впрыскивающие в масло порции присадки-концентрата, встраиваются в масляные фильтры и работают автоматически.

Другой способ: «сливать часть старого масла и немедленно доливать свежее», т. е. частичная замена – используется, когда полная замена масла сопряжена с риском или неудобством. Это позволяет удалить из масла часть загрязнений и пополнить состав свежими присадками.

Промывка систем смазки, а также маслораздачи и хранения смазочных материалов. При замене масла, особенно в системах хранения, маслораздачи или смазки крупногабаритных строительных и горных машин, желательно выполнять промывку всей системы. Особенно рекомендуется делать это, если машина (система) не новая и работает в неблагоприятных условиях – в сильно запыленном или влажном воздухе, или если заправляется масло другой марки, отличающейся от марки слитого смазочного материала.

Выбор неправильной технологии промывки может не только стать причиной увеличения затрат финансов и времени, но и просто не принести желаемого результата. Если система большая и сложная, ее промывка достаточно сложная задача, для выполнения которой иногда требуется специальное оборудование.

Ниже перечислено несколько методов промывки, расположив их последовательно в порядке возрастания сложности, затрат времени, риска для машин и общей стоимости. Лучше выбирать технологии из начала списка и стараться избегать самых сложных. Описания приводятся краткие, без специфических подробностей.

Двойная замена масла. Когда на внутренних поверхностях деталей машины еще не заметно следов износа, несмотря на наличие в масле шлама и нерастворимых веществ, лучшим способом промывки может быть простая двойная замена масла. При сливе в первый раз с маслом уйдет большая часть загрязнений и деградировавшего масла. Затем заправляется свежее масло, машина запускается, и масло циркулирует через фильтр тонкой очистки до тех пор, пока не достигнет рабочей температуры и совершит полную циркуляцию по системе смазки машины не менее четырех раз. Затем оно также сливается. Рекомендуется отобрать пробы и выполнить анализы второго масла методами «Масляного пятна», на фильтровальной бумаге, на общее содержание нерастворимых веществ и другие уместные в данном случае анализы непосредственно перед тем, как масло будет слито, чтобы определить, успешно ли выполнена промывка. Если промыть систему этим методом не удалось, нужно использовать другую технологию.

Простая принудительная промывка. Для принудительной промывки используется портативная фильтровальная установка типа «искусственная почка» или другое оборудование, способное создавать в промываемой системе высокоскоростной поток масла. В некоторых случаях может использоваться инструмент в виде поршня или стержня, чтобы вручную прокачивать промывочную жидкость в системе с усилием, способным размывать и отрывать от дна масляного поддона, картера и от стенок каналов системы и поднимать осадок и шлам. Это может быть выполнено без замены масла или перед заменой, однократной или двукратной. В больших системах циркуляции масла принудительная промывка обычно выполняется поэтапно в отдельных контурах. При этом обычно перекрывают клапаны и шланги, чтобы изолировать промываемый контур от остальной системы.

Усложненная принудительная промывка. То же, что и простая принудительная промывка, но с применением более интенсивных мер для отделения отложений. Решение о выборе одной или нескольких подобных технологий обычно принимается по результатам осмотра внутренних поверхностей машины и/или на основе опыта исполнителя и знания коренных причин, которые привели к необходимости проведения промывки, а также чтобы не прибегать к рискованной процедуре использования в системе агрессивных химических веществ, о чем будет написано ниже.

Принудительная химическая промывка. Использование агрессивных химических веществ, таких как растворители, моющие средства, каустическая сода или кислоты, следует считать исключительным, последним средством. Никогда нельзя точно сказать, как повлияют эти химикаты на дальнейшую работу машины. Например, подобные химикаты могут растворить покрытия на внутренних поверхностях или повредить их поверхностную обработку. Они могут оказать вредное воздействие на эластомеры, из которых выполнены уплотнения и мембраны. Они могут растворить клей и герметики, используемые в конструкции фильтров. Остатки этих химикатов могут вступить в реакцию с базовым маслом или его присадками, которое будет заправлено в систему после промывки. И наконец, они могут адсорбироваться между зерен металлов, из которых выполнены детали машины, и нейтрализовать защитное действие присадок-ингибиторов коррозии или противоизносных присадок из состава масла.

Однако бывают ситуации, когда принудительная химическая промывка остается единственным возможным решением – «наименьшим из возможных зол». В таких случаях настоятельно рекомендуется предварительно провести лабораторные анализы и подробно проконсультироваться со специалистами в этой области.

Механическая очистка. Механическая очистка – это не промывка. Но в большинстве случаев, когда машину приходится полностью или частично разбирать, чтобы получить доступ к поверхностям, которые необходимо очистить, использовать технологии промывки не представляется возможным. Часто отложения, которые требуют механической очистки, образуются в определенных узлах, где они создают опасность для работы машины. Например, это могут быть лаковые отложения на золотниках и стенках камер гидрораспределителей, которые препятствуют нормальной работе этого узла. (Агрегаты больших размеров – дизельные двигатели, компрессоры и коробки передач часто разбираются для проведения механической очистки, обычно при этом используются скребки и шаберы, металлические щетки и растворители.

Чтобы правильно выбрать способ промывки (очистки), нужно тщательно осмотреть машину. Тщательный осмотр следует повторить перед тем, как машина будет снова направлена в эксплуатацию, чтобы убедиться, что промывка выполнена успешно. Подобным же

образом перед отправкой машины в эксплуатацию следует отобрать пробы масла и провести анализ, чтобы убедиться, что в новом масле не содержится остатков промывочной жидкости или частиц смытых отложений, которые могут оказать вредное влияние на смазочный материал и работу всей системы.

Если рекомендованный интервал замены масла не соответствует оптимальному. В практике нередки случаи, когда при проведении анализа отработанного масла, слитого строго в соответствии со сроком, указанным производителем машины, выясняется, что оно в недопустимо плохом состоянии и его нужно было менять значительно раньше рекомендованного периода, сократив рекомендованный интервал чуть ли не в половину. Это происходит потому, что компания-производитель рекомендует интервал замены масла на основании результатов испытаний, выполненных в процессе разработки оборудования или сертификации данного типа смазочного материала. По результатам данных испытаний на нескольких машинах выбирается величина рекомендуемого интервала замены масла.

Восстановление на ходу. Одним из способов осуществить восстановление отработанного масла “на ходу” является введение трибохимического восстановителя (ТХВ) в смазочную систему двигателя внутреннего сгорания (рис.4.15). В состав ТХВ входят щелочные реагенты и кристаллический йод. Главная идея использования трибохимических восстановителей состоит в так называемом «эффекте безызносности» трущихся поверхностей. Одновременно должны восстанавливаться и стабилизироваться физико-химические свойства и параметры смазочного масла. Такой результат достигается за счет создания системы, склонной к саморегулированию (двигатель-циркулирующее масло).

Регенерация на ходу. Утилизация моторного масла может проводиться непосредственно при его эксплуатации (рис.4.16). Для этого в смазочную систему вводится специальный трибохимический восстановитель. В результате образуются моюще-диспергирующие и антидепрессорные присадки. Так смазочный материал восстанавливает и стабилизирует присущие ему физико-химические свойства, получает модификаторы трения, обеспечивающие образование противокоррозионных, противоизносных и

антифрикционных покрытий на трущихся и внутренних поверхностях деталей механизмов.

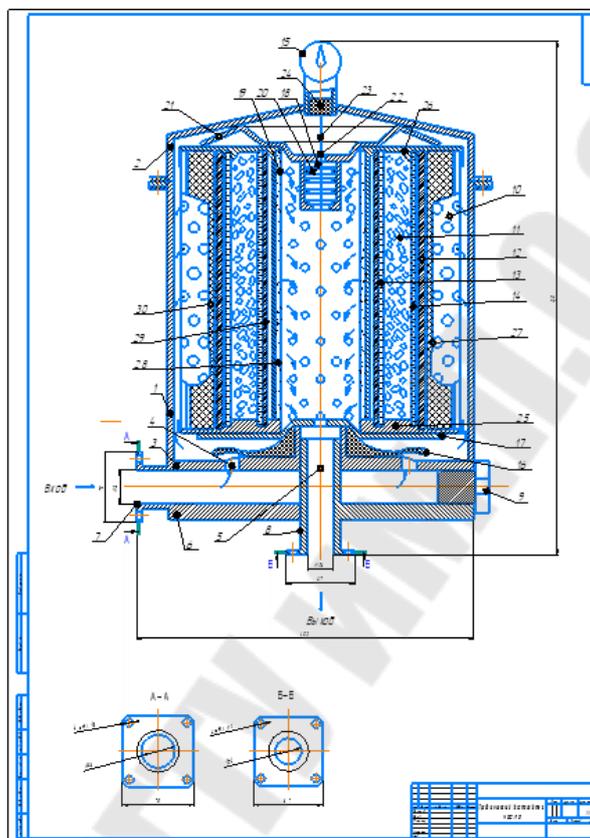


Рис. 4.15. Трибохимический восстановитель масла

Идея предусматривает установку в систему смазывания ДВС специального устройства, возможно совмещенного с одним из штатных фильтроэлементов, снабженного труднорастворимым в масле щелочным реагентом и дозатором йода. В качестве щелочных реагентов используются специальные соединения с введением в них различных модификаторов трения и установкой дозатора йода.

Устройство работает следующим образом. Окисленное в двигателе масло взаимодействует со щелочным реагентом, изготовленным на основе натрия и олова, в результате интерметаллические соединения распадаются, натрий нейтрализует кислые компоненты, содержащиеся в рабочем масле. Мелкие частицы олова переносятся в йодные фильтры-дозаторы, где разрушаются до молекулярного состояния, после чего взаимодействуют с продуктами работающего масла, синтезируют металлоорганические соединения, являющиеся модификатором трения. Обработанное таким образом

масло поступает в систему смазывания ДВС. Попадая на поверхности трения, металлоорганические соединения образуют на них антифрикционные покрытия, способствующие снижению износа пар трения. Цикл постоянно повторяется, т.е. устройство обеспечивает постоянное восстановление свойств масла и воспроизведение веществ, предохраняющих пары трения от быстрого износа.

Трибохимический восстановитель устанавливается непосредственно в циркуляционный контур системы смазывания двигателя. Конкретное место устройства определяется конструктивными особенностями двигателя.



Рис. 4.16. Установка для очистки трансформаторного масла «на ходу»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены основные виды материалов, применяемых в энергетике с целью повышения их энергоэффективности и энергосбережения. Главное внимание уделено свойствам материалов, их изменению в процессе эксплуатации и под действием окружающей среды. Под влиянием температурных, механических и радиационных воздействий материалы меняют свои свойства, теряя функциональность, что приводит к потерям энергии, повышается риск аварий. Решение этой проблемы возможно несколькими способами: создание материалов с надежными, стабильными свойствами и применение методов диагностики и контроля свойств материалов. Первый метод прерогатива ученых – материаловедов, занимающихся разработкой рецептур и составов на основе знания базовых принципов придания материалам специальных функциональных свойств и сохранения последних. Второй – инженеров, вооруженных знанием методов, диагностики, позволяющими определить соответствие функциональных свойств требуемым и возможностью внести корректировку, предупредить аварийную ситуацию, продлить срок службы материала, изделия, узла, конструкции.

Целью дальнейшего развития и достижений материаловедения является получение и потребление энергии от различных источников без ущерба для экологии в количествах, необходимых для непрерывного роста экономического благосостояния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основной

1. Адаскин, А.М. Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов: Учебник / А.М. Адаскин, А.Н. Красновский. - М.: Форум, 2018. - 592 с.
2. Дудкин, А.Н. Электротехническое материаловедение: Учебное пособие / А.Н. Дудкин, В.С. Ким. - СПб.: Лань, 2017. - 200 с.
3. Журавлева, Л.В. Электроматериаловедение / Л.В. Журавлева. - М.: Academia, 2012. - 407 с.
4. Лебедев В.А., Пискунов В.М. Основы энергетики: учебное пособие / В.А. Лебедев. - Издательство "Лань", 2019. – 140 с.
5. Материаловедение и проблемы энергетики / Под ред. Г.Либовица и П.Уиттингема. / М.: Мир, 1982. – 542 с.
6. Методы исследования материалов и процессов: учеб. пособие / Н.Н. Степанова. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 133 с.
7. Мороз Н. К. Электротехническое материаловедение: Учебник / Н. К. Мороз. – Инфра-Инженерия, 2020. – 148 с.
8. Новиков, Ю.Н. Электротехническое материаловедение: Учебное пособие / Ю.Н. Новиков. - СПб.: Лань, 2016. – 200 с.
9. Солнцев, Ю.П. Материаловедение: Учебник / Ю.П. Солнцев. – М.: Академия, 2018. - 336 с.
10. Тушинский Л.И. Методы исследования материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий: учеб. пособие для вузов / Л.И. Тушинский [и др.]. – М.: Мир, 2004.– 384 с.
11. Черепахин, А.А. Материаловедение: Учебник / А.А. Черепахин, А.А. Смолькин. - М.: Инфра-М, 2018. - 543 с.
12. Шубина, Н.Б. Материаловедение. / Н.Б. Шубина, О.В. Белянкина. – М.: МГГУ, 2012. – 162 с.

Дополнительный

13. https://ozlib.com/854909/fizika/metallicheskie_materialy_osoby_mi_elektricheskim_i_svoystvami Металлические материалы с особыми электрическими свойствами

14. <https://cyberleninka.ru/journal/n/materialovedenie-energetika?iMaterialovedenie>. ЭнергетикаНаучный журнал.

15. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/33894>Материаловедение. Машиностроение. Энергетика : сборник научных трудов.

16. <https://priem.tltsu.ru/future/robototekhnika-i-mashinostroenie/-materialovedenie-i-tekhnologii-materialov/>Материаловедение и технологии материалов.

17. https://www.omgtu.ru/general_information/institutes/engineering_institute/department_quot_equipment.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Тема 1. ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ	4
1.1. Основные понятия о строении материалов	4
1.2. Физико-механические и химические свойства материалов	8
1.3. Конструкционные материалы. Металлы, сплавы, композиционные и керамические материалы, применяемые при изготовлении энергооборудования, их классификация и свойства	10
Тема 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	16
2.1. Диэлектрические, полупроводниковые, проводниковые и сверхпроводниковые материалы	16
2.2. Магнитные материалы	32
2.3. Контроль качества электротехнических материалов	36
Тема 3. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	38
3.1. Классификация теплоизоляционных и огнеупорных материалов	38
3.2. Исходное сырье и технология получения огнеупорных и теплоизоляционных материалов	42
3.3. Формованные и неформованные огнеупорные и теплоизоляционные изделия	45
Тема 4. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	53
4.1. Общие сведения о маслах и консистентных смазках. Назначение масел и смазок	56
4.2. Жидкие, пластичные и твердые смазочные материалы, их классификация и области применения	57
4.3. Методики и оборудование для испытания смазочных материалов	77
4.4. Очистка, осушка, восстановление и удлинение срока службы смазочных материалов	85
Тема 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
Тема 6. Список использованных источников	98

ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Учебно-методическое пособие
для слушателей специальности переподготовки
1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание
энергооборудования организаций»
заочной формы обучения**

Составитель Бобрышева Светлана Николаевна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 31.10.22.

Рег. № 33Е.

<http://www.gstu.by>