

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Мясоедов Ю. В., Хондошко Ю. В.,

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические указания к самостоятельной работе

Благовещенск, 2021

*Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Мясоедов Ю.В., Хондошко Ю.В.

Электротехнические и конструкционные материалы: методические указания к самостоятельной работе / Ю.В. Мясоедов, Хондошко Ю.В. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2021. – 28 с.

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам, обучающимся по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника, в получении необходимых дополнительных знаний в области электротехнического и конструкционного материаловедения. В методических указаниях даны структура, задания и методика реализации всех видов самостоятельных работ в соответствии с учебным планом направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Организация самостоятельной работы	4
1.1 Цели и задачи самостоятельной работы	4
1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины	5
2 Содержание разделов и тем, выносимых на самостоятельную работу	6
3 Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов	23
Библиографический список	27

1 ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

При самостоятельной работе над разделами курса студентам необходимо: самостоятельно изучить дополнительные материалы по программе курса в соответствии с учебным планом и рабочей программы дисциплины; подготовить устные ответы на контрольные вопросы, приведенные после каждой темы; пройти тестирование. Темы для самостоятельного изучения преподаватель выдает после прохождения каждой темы в соответствии с рабочей программой.

1.1 Цели и задачи самостоятельной работы

Целью дисциплины «Электротехнические и конструкционные материалы» формирование у студентов знаний атомно-кристаллического строения сплавов, типовых диаграмм состояний, влияния деформации и термической обработки на свойства сплавов, новых металлических и неметаллических материалов, а так же знаний о электротехнических материалах и процессах, происходящих в них при эксплуатации в электрических полях.

Задачей курса является:

- познание природы и свойств металлических и неметаллических материалов для наиболее эффективного использования их в технике;
- изучение основных характеристик материалов применяемых в электроэнергетике и изменения свойств электротехнических материалов в процессе эксплуатации.

Задачи самостоятельной работы следующие: ознакомиться с мировыми достижениями в электротехнических и конструкционных материалов; ознакомиться с проблемами научно-технического характера, современными технологиями и потребностями промышленности, научно-правовой и технической политики в области использования тех или иным материалов, расширить кругозор, проявлять самостоятельность, творческую активность при решении задач в области энергетики и электротехники.

1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины «Электротехнические и конструкционные материалы» студенты должны:

- Демонстрировать знания в области применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности

- Демонстрировать знания в области применения, свойств, характеристик и методов исследования электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками

2 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ, ВЫНОСИМЫХ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Тема 1. Строение и основные свойства металлов и сплавов. Основные типы диаграмм двухкомпонентных систем.

В изготовлении машин и рабочих установок, наиболее применяемыми стали металлы и их сплавы.

Металлы – это вещества, которые обладают высокой электропроводностью и теплопроводностью, блеском, ковкостью и другими свойствами, которые легко и не очень поддаются металлообработке.

В промышленности все металлы и сплавы делят на две категории: цветные и черные. Так называемые черные металлы – это чистое железо и сплавы на основе его материала. К цветным – относятся остальные виды металлов. Для правильного выбора металла для изготовления конструкций механизмов с дальнейшим анализом ее использования, механических и других свойств, которые влияют на надежность и работоспособность машин – нужно знать внутреннее строение, механические, физико-химические и технологические свойства, а также каким методом прорабатывать металл и нуждается ли материал в резке металла (если материал нужно обработать резкой, то лучше это сделать при помощи плазменной резки металла).

В твердом состоянии все металлы и сплавы имеют кристаллическое строение. Молекулы металлов (атомы, ионы) в пространстве располагаются в строго определенном порядке и между собой образуют кристаллическую решетку. Образуется кристаллическая решетка посредством обработки металла, т.е. перехода его состояния из жидкого в твердое. Такой процесс носит название – кристаллизация. Впервые эти процессы были изучены ученым из России - Д.К. Черновым.

Процесс кристаллизации состоит из двух частей. У металла, который находится в жидком состоянии, атомы непрерывно двигаются. Если понизить температуру, то скорость передвижения атомов уменьшается, они сближаются и

группируются в кристаллы (поэтому для того, чтобы изменить форму и структуру изделия, его подвергают металлообработке при помощи нагревания) – это первая часть, при ней образуются центры кристаллизации.

Затем идет рост вокруг центров кристаллизации – это уже вторая часть процесса. В самом начале рост кристаллов протекает свободно, но потом, рост одних – мешает росту другим, в результате формируется неправильная форма группы кристаллов, которые называются зёрнами. Размер полученных зёрен, значительно влияет на дальнейшую металлообработку изделий. Металл, состоящий из крупных зёрен - имеет низкую сопротивляемость к удару, если производится резка металла, то появляется трудность в получении низкой шероховатости на поверхности такого металла. Размеры зёрен зависят от условий кристаллизации и свойств самого металла.

Исследование структуры металлов и сплавов производится посредством макро и микро – анализов, а также и другими способами. При помощи макро-анализа изучается строение металла, которое можно увидеть невооруженным глазом или при помощи лупы. Эта структура определяется по макрошлифам или изломам. Макрошлиф – это образец металла, одна из сторон которого травлена кислотой и отшлифована.

При микроанализе изучаются размеры и формы зёрен, их структурные составляющие, выявляют микродефекты и качество термической обработки металла. Этот анализ производится по микрошлифам при помощи микроскопа. Микрошлиф – это некий образец металла, который имеет плоскую отполированную поверхность, травленную слабым раствором кислоты.

Металлические свойства подразделяются на физико-химические, технологические и механические. Под механическими свойствами понимается сопротивляемость металла к воздействию на него внешней силы. К механическим свойствам относятся вязкость, прочность, стойкость и другие.

Прочность – это свойства металла в определенных условия не разрушаться, но воспринимать воздействие внешних сил. Это свойство является важным показателем при выборе метода обработки металла.

Вязкость – это сопротивление материала при ударной нагрузке.

Твердость – свойства материала к сопротивлению внедрения в него другого материала.

Тема 2. Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния Fe-C. Углеродистые стали, чугуны.

Наиболее широкое применение в современном машиностроении имеют железоуглеродистые сплавы — сталь и чугун.

Сталь — это сплав железа с углеродом; содержание углерода в стали не превышает 2%. К сталям относятся: техническое железо, конструкционная и инструментальная сталь.

Чугун — сплавы железа с углеродом, в которых содержание углерода превышает 2%. Среднее содержание углерода в чугуне 2,5—3,5%.

Кроме железа и углерода, в сталях и чугунах присутствуют примеси кремний и марганец в десятых долях процента (0,15— 0,60%); сера и фосфор в сотых долях процента (0,05—0,03%) каждого элемента.

Сталь с содержанием углерода до 0,7% применяется для изготовления листов, ленты, проволоки, рельсов, таврового и уголкового железа, различного фасонного профиля, а также для многочисленных деталей в машиностроении: шестерни, оси, валы, шатуны, болты, молотки, кувалды и т.п.

Сталь с содержанием углерода свыше 0,7% применяется для изготовления различного режущего инструмента (резцы, сверла, метчики, бородки, зубила и др.)

Машиностроительный чугун применяют для производства отливок всевозможных деталей машин.

По составу и строению чугуны делятся на: белый, серый, ковкий.

Ковкий чугун получается в результате специальной обработки белого чугуна. В белом чугуне весь углерод находится в химически связанном состоянии с железом (Fe_3C — цементит), что придает этому чугуну большую твердость и хрупкость и плохую обрабатываемость.

В машиностроении белый чугун применяют для изготовления отливок, отжигаемых на так называемый ковкий чугун.

При отжиге цементит разлагается на железо и свободный углерод, и отливки приобретают невысокую твердость и хорошую обрабатываемость.

Наиболее широкое применение в технике имеет серый чугун, в котором большая часть углерода находится в свободном состоянии, в виде графита. Этому способствует высокое содержание кремния.

Такой чугун обладает хорошими литейными качествами и применяется для производства чугунных отливок. Детали из этого чугуна получают путем отливки в земляные или металлические формы (станины, шестерни, цилиндры, блоки и т.п.). Благодаря наличию свободного углерода (графита) серый чугун имеет небольшую твердость и хорошо обрабатывается резанием.

Тема 3. Основы термической обработки. Превращения при нагреве и охлаждении

Виды термообработки

Термическая обработка (термообработка) стали, цветных металлов — процесс изменения структуры стали, цветных металлов, сплавов при нагревании и последующем охлаждении с определенной скоростью. Термическая обработка (термообработка) приводит к существенным изменениям свойств стали, цветных металлов, сплавов. Химический состав металла не изменяется.

Виды термической обработки стали

Отжиг — термическая обработка (термообработка) металла, при которой производится нагревание металла, а затем медленное охлаждение. Эта термообработка (т. е. отжиг) бывает разных видов (вид отжига зависит от температуры нагрева, скорости охлаждения металла).

Закалка — термическая обработка (термообработка) стали, сплавов, основанная на перекристаллизации стали (сплавов) при нагреве до температуры выше критической; после достаточной выдержки при критической температуре для завершения термической обработки следует быстрое охлаждение. Закаленная сталь (сплав) имеет неравновесную структуру, поэтому применим другой вид термообработки — отпуск.

Отпуск — термическая обработка (термообработка) стали, сплавов, проводимая после закалки для уменьшения или снятия остаточных напряжений в стали и сплавах, повышающая вязкость, уменьшающая твердость и хрупкость металла.

Нормализация — термическая обработка (термообработка), схожая с отжигом. Различия этих термообработок (нормализации и отжига) состоит в том, что при нормализации сталь охлаждается на воздухе (при отжиге — в печи).

Нагрев заготовки — ответственная операция. От правильности ее проведения зависят качество изделия, производительность труда. Необходимо знать, что в процессе нагрева металл меняет свою структуру, свойства и характеристику поверхностного слоя и в результате от взаимодействия металла с воздухом атмосферы, и на поверхности образуется окалина, толщина слоя окислы зависит от температуры и продолжительности нагрева, химического состава металла. Стали окисляются наиболее интенсивно при нагреве больше 900°C , при нагреве в 1000°C окисляемость увеличивается в 2 раза, а при 1200°C — в 5 раз.

Хромоникелевые стали называют жаростойкими потому, что они практически не окисляются.

Легированные стали образуют плотный, но не толстый слой окислы, который защищает металл от дальнейшего окисления и не растрескивается при ковке.

Углеродистые стали при нагреве теряют углерод с поверхностного слоя в 2-4 мм. Это грозит металлу уменьшением прочности, твердости стали и ухудшается закаливанию. Особенно пагубно обезуглероживание для поковок небольших размеров с последующей закалкой.

Заготовки из углеродистой стали с сечением до 100 мм можно быстро нагревать и потому их кладут холодными, без предварительного прогрева, в печь, где температура 1300°C . Во избежание появления трещин высоколегированные и высокоуглеродистые стали необходимо нагревать медленно.

При перегреве металл приобретает крупнозернистую структуру и его пластичность снижается. Поэтому необходимо обращаться к диаграмме «железо-углерод», где определены температуры для начала и концаковки. Однако перегрев

заготовки можно при необходимости исправить методом термической обработки, но на это требуется дополнительное время и энергия. Нагрев металла до еще большей температуры приводит к пережогу, от чего происходит нарушение связей между зернами и такой металл полностью разрушается при ковке.

Тема 4. Легированные стали, область применения, термическая обработка. Цветные металлы и сплавы на их основе. Сплавы с особыми свойствами

Влияние легирующих элементов на структуру и свойства легированных сталей. Инструментальные, конструкционные, легированные стали и стали с особыми свойствами (нержавеющие, жаропрочные, износостойкие). Структурные классы легированных сталей. Термическая обработка легированных сталей. Медь и её сплавы. Применение медных сплавов в промышленности. Алюминий, магний, титан и их сплавы. Подшипниковые сплавы. Материалы в приборостроении и автоматике. Магнитные материалы. Материалы с особыми тепловыми и упругими свойствами. Проводниковые материалы, сплавы с высоким электросопротивлением, припой. Контактные материалы, материалы в микроэлектронике

Тема 5. Композиционные и неметаллические материалы

Композиционные материалы (композиты), неметаллические материалы (пластмассы) обладают свойствами, отличающимися от металлов и их сплавов. Применение этих материалов в авиации, космической технике и общем машиностроении позволяет значительно снизить массу изготовленных из них изделий.

Композиционные материалы, их структура и характеристики. Композиты представляют собой неоднородную систему, полученную из двух и более компонентов. Один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объему, является матрицей; другой, разделенный в объеме композиции, является усиливающим или армирующим. По своим прочностным качествам многие композиты превосходят любой из своих компонентов или резко отличаются от них по физическим и механическим данным.

Существуют различные виды классификаций композиционных материалов: по форме включений, конструктивному признаку, материалу наполнителя, материалу матрицы и другим свойствам.

Неметаллические материалы (пластмассы). Пластические массы — материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные приобретать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения. Помимо полимера, они могут содержать наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты и другие компоненты. Связующим материалом в них служат высокомолекулярные органические соединения (полимеры). Такие пластмассы, как органическое стекло, полиамиды, полиэтилен состоят только из полимеров.

Высокомолекулярные вещества, образующие пространственную сетчатую структуру, которая возникает путем соединения друг с другом линейных молекул под влиянием температуры и давления на последней стадии формирования изделия, называются термореактивными или реактопластами. Реактопласты теряют способность плавиться при нагревании, т. е. образуется неплавкий и нерастворимый материал. К реактопластам относятся пластмассы на основе фенолоформальдегидных, полиэфирных, эпоксидных и карбамидных смол.

Для придания необходимых эксплуатационных свойств в состав пластмасс вводятся наполнители. Наполнители представляют собой порошкообразные, волокнистые, слоистые вещества и газы.

К порошкообразным наполнителям относятся графит, тальк, древесная мука и другие материалы. В качестве волокнистых наполнителей применяются асбестовые, стеклянные, органические волокна; пластмассы с такими наполнителями называются волокнитами. В слоистых пластиках роль наполнителя выполняют бумага, хлопчатобумажная, стеклянная и другие ткани. В пенопластах наполнителями являются газы, например азот.

Для придания пластмассам пластичности в их состав вводятся пластификаторы. В качестве пластификаторов используются главным образом

нелетучие химические инертные вещества, такие как дибутилфталат, камфора, олеиновая кислота, нефтяные масла.

Тема 6. Общие сведения о свойствах материалов в электрическом поле.

Отдельные атомы какого-либо вещества имеют дискретный энергетический спектр, то есть электроны в этих атомах могут занимать лишь вполне определенные энергетические уровни.

Часть этих уровней заполнена при нормальном, невозбужденном состоянии атома, на других уровнях электроны могут находиться только, если атом подвергнется внешнему воздействию, то есть он возбужден. Стремясь к устойчивому состоянию при переходе электронов с возбужденных уровней на уровни, где энергия атома минимальна, атом излучает избыток энергии.

В газообразном веществе все атомы достаточно сильно удалены друг от друга. При образовании кристаллической решетки твердого тела все электронные уровни (заполненные и не заполненные) у данного типа атомов несколько смещаются из-за действия соседних атомов друг на друга, и из отдельных энергетических уровней уединенных атомов в твердом теле образуется их целая полоса — зона энергетических уровней. То есть при обменном взаимодействии электронов энергетические уровни расщепляются.

Самая верхняя из заполненных электронами зон называют валентной. Ближайшая к ней незаполненная электронами зона — зона проводимости. Эти зоны отделены друг от друга запрещенной зоной, в которой электроны находиться не могут.

Проводники — у этих материалов запрещенная зона практически отсутствует. Валентная зона вплотную прилегает к зоне проводимости или даже перекрывается ею, вследствие чего электроны в металле свободны и под влиянием слабых напряженностей приложенного электрического поля могут переходить из валентной (заполненной) зоны в зону проводимости.

Удельное электрическое сопротивление проводников $r_v < 10^{-5}$ Ом•м.

Отличительное свойство проводников — сильно выраженная электропроводность.

Полупроводники — вещества с шириной запрещенной зоны $< 3 \text{ эВ}$, $10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{м} < r_v < 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Отличительное свойство полупроводников — сильная зависимость удельной проводимости от концентрации и вида примесей и дефектов в материале, а также от внешних воздействий (температуры, света, электрических и магнитных полей).

Диэлектрики – вещества, имеющие самую широкую запрещенную зону (более 3 эВ) и большое удельное электрическое сопротивление ($r_v > 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). У некоторых диэлектриков запрещенная зона может быть настолько велика, что электронная электропроводность не играет определяющей роли.

Отличительное свойство — способность к поляризации и возможность существования в этих материалах электростатического поля.

В полупроводниках и диэлектриках при 0° К все электроны находятся в валентной зоне. Для появления электропроводности необходимо часть электронов из валентной зоны перевести в зону проводимости. Энергии электрического поля для этого может оказаться недостаточным и требуется более сильное энергетическое воздействие, например нагревание твердого тела. Тогда часть электронов «перебрасывается» (через запрещенную зону) из валентной зоны в зону проводимости и, становясь свободными, электроны могут перемещаться под действием электрического поля, создавая электронную проводимость материала.

В валентной зоне, откуда ушел электрон, образуется так называемая «дырка» - энергетическая вакансия, которая ведет себя во внешнем электрическом поле как положительный заряд, то есть двигается в электрическом поле в противоположную от электрона сторону и в полупроводнике происходит эстафетное движение электронов, заполняющих образующиеся дырки.

Электроны из зоны проводимости могут возвращаться в валентную зону, то есть рекомбинировать с дырками. В связи с этим при любой температуре наступает динамическое равновесие — количество электронов переходящих в свободную зону равно количеству электронов, возвращающихся в нормальное состояние (валентную зону).

Тема 7. Диэлектрические материалы

Диэлектрические материалы или диэлектрики являются востребованным материалом в современном строительстве и наукоёмких отраслях промышленности. Диэлектрик – это материал, не проводящий электрический ток или относительно плохо проводящий его. Соответственно он применяется для изоляции токоведущих частей конструкций.

Рынок химических материалов и реагентов сейчас крайне разнообразен, чуть ли не каждый день создаётся материал с новыми и уникальными свойствами, превосходящий аналог по прочности, эластичности, водостойкости и ряду других показателей. Поэтому уже существуют диэлектрики: органического происхождения, неорганического происхождения.

В органических диэлектриках основа состава – углерод.

Неорганические диэлектрики – это, как правило, продукты природной тектонической деятельности (горные породы), химический состав и строение кристаллической решётки которых не приспособлены для того, чтобы проводить ток.

Бывают ситуации, когда диэлектрические свойства материала в конструкции ослабляются. Такое возможно если по изделию пропустили электрический ток высокого напряжения, который многократно превышает возможности диэлектрика. В таком случае в материале возникает электрический пробой, который снижает эффективность всего диэлектрического покрытия. Поэтому работы по изоляции токоведущих частей конструкций лучше всего не делать самостоятельно, а доверить профессионалам, которые грамотно подберут диэлектрик под конкретную задачу и не допустят образования пробоя.

Кроме выше приведённой классификации диэлектрические материалы подразделяют на материалы естественного происхождения и синтетические.

Тема 8. Полупроводниковые материалы

Полупроводниковые материалы, полупроводники, применяемые для изготовления электронных приборов и устройств. В полупроводниковой электронике используют главным образом кристаллические полупроводниковые

материалы. Большинство из них имеет кристаллическую структуру с тетраэдрической координацией атомов, характерной для структуры алмаза.

Значительную роль в развитии полупроводниковой техники сыграл селен: селеновые выпрямители долгое время оставались основными полупроводниковыми приборами, получившими массовое применение.

В начале 70-х гг. 20 в. наиболее распространённые полупроводниковые материалы: кремний и германий. Обычно их изготавливают в виде массивных монокристаллов, легированных различными примесями. Легированные монокристаллы Si с удельным сопротивлением 10^{-3} — 10^4 Ом·см получают преимущественно методом вытягивания из расплава (по Чохральскому), а легированные монокристаллы Ge с удельным сопротивлением 0,1—45 Ом·см получают, кроме того, зонной плавкой. Как правило, примесные атомы V группы периодической системы (P, As и Sb) сообщают кремнию и германию электронную проводимость, а примесные атомы III группы (B, Al, Ga, In) — дырочную. Si и Ge обычно используют для изготовления полупроводниковых диодов, транзисторов, интегральных микросхем и т.д.

Тема 9. Проводниковые материалы

Проводниковые материалы обладают способностью проводить электрический ток и характеризуются весьма малым или заданным удельным электрическим сопротивлением ρ . К ним относятся и материалы с высоким сопротивлением, и сверхпроводниковые, и криопродниковые материалы, у которых удельное электрическое сопротивление при очень низких температурах весьма мало.

По агрегатному состоянию разделяют на газообразные, жидкие и твердые проводниковые материалы.

К газообразным проводниковым материалам относят все газы и пары, в том числе и пары металлов. При достаточно малых значениях напряженности электрического поля E они являются диэлектриками и обладают очень высоким удельным электрическим сопротивлением ρ . Однако при напряженности электрического поля, которое обеспечивает начало ионизации, газ может стать проводником, в котором перенос электрических зарядов осуществляется

электронами и ионами. Если в единице объема сильно ионизированного газа наступает равенство между числом электронов и положительных ионов, то такой газ представляет собой особую проводящую среду, называемую плазмой. Проводимость газов и паров используют в различных газоразрядных приборах.

К жидким проводникам относят расплавы металлов и растворы (в частности, водные) и расплавы солей, кислот и других веществ с ионным строением молекул.

Они разделяются по механизму прохождения тока через вещество.

Проводники первого рода - проводниками с электронной (металлической) электропроводностью.

Проводники второго рода - механизм прохождения электрического тока через них осуществляется двумя путями: с переносом частиц вещества; электронным.

Растворы и расплавы солей, кислот и щелочей, проводящие электрический ток, называют электролитами или проводниками второго рода. При прохождении электрического тока через электролит, в который погружены электроды, электрические заряды переносятся вместе с частицами молекул (ионами) электролита. На электродах происходит выделение веществ из раствора.

К твердым проводникам относят металлы и сплавы. В периодической системе химических элементов Д.И.Менделеева 75% элементов - металлы. В твердом состоянии металлы имеют кристаллическую структуру, для которой характерен особый вид металлической связи между атомами.

По характеру применения металлические материалы разделяют на материалы высокой проводимости (удельное электрическое сопротивление $\rho < 0,1$ мкОм·м) и материалы с высоким сопротивлением (удельное электрическое сопротивление $\rho > 0,3$ мкОм·м).

Материалы с высокой проводимостью (железо, медь, алюминий, золото, серебро и др.) используют как основу в контактных материалах и припоях, для изготовления проводов, микропроводов, проводящих покрытий и пленок, различных токопроводящих деталей.

Материалы с высоким сопротивлением используют в качестве резистивных материалов и материалов для термопар. Наиболее известные сплавы с высоким

сопротивлением: медно-марганцевые (манганины), медно-никелевые (константаны), сплавы железа, никеля и хрома (нихромы).

Материалы, обладающие ничтожно малым удельным электрическим сопротивлением ρ при очень низких температурах называются сверхпроводниками. Свойством сверхпроводимости обладают ртуть, алюминий, свинец, ниобий, соединения ниобия с оловом, титаном и др.

Тема 10. Магнитные материалы

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. К ним относят цинк, медь, золото, ртуть и другие материалы.

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.

Любое ферромагнитное тело разбито на домены – малые области самопроизвольной (спонтанной) намагниченности. В отсутствие внешнего магнитного поля, направления векторов намагниченности различных доменов не совпадают, и результирующая намагниченность всего тела может быть равна нулю.

Существует три типа процессов намагничивания ферромагнетиков:

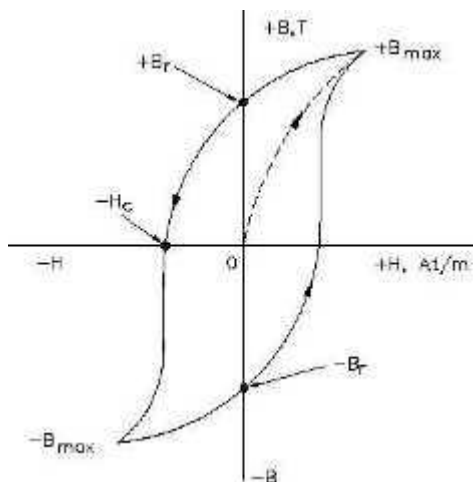
1. Процесс обратимого смещения магнитных доменов. В данном случае происходит смещение границ доменов, ориентированных наиболее близко к

направлению внешнего поля. При снятии поля домены смещаются в обратном направлении. Область обратимого смещения доменов расположена на начальном участке кривой намагничивания.

2. Процесс необратимого смещения магнитных доменов. В данном случае смещение границ между магнитными доменами не снимается при снижении магнитного поля. Исходные положения доменов могут быть достигнуты в процессе перемагничивания.

Необратимое смещение границ доменов приводит к появлению магнитного гистерезиса – отставанию магнитной индукции от напряженности поля.

3. Процессы вращения доменов. В данном случае завершение процессов смещения границ доменов приводит к техническому насыщению материала. В области насыщения все домены поворачиваются по направлению поля. Петля гистерезиса, достигающая области насыщения называется предельной.



Предельная петля гистерезиса имеет следующие характеристики: B_{max} – индукция насыщения; B_r – остаточная индукция; H_c – задерживающая (коэрцитивная) сила.

Материалы с малыми значениями H_c (узкой петлей гистерезиса) и большой магнитной проницаемостью называются магнитомягкими.

Материалы с большими значениями H_c (широкой петлей гистерезиса) и низкой магнитной проницаемостью называются магнитотвердыми.

При перемагничивании ферромагнетика в переменных магнитных полях всегда наблюдаются тепловые потери энергии, то есть материал нагревается. Эти

потери обусловлены потерями на гистерезис и потерями на вихревые токи. Потери на гистерезис пропорциональны площади петли гистерезиса. Потери на вихревые токи зависят от электрического сопротивления ферромагнетика. Чем выше сопротивление – тем меньше потери на вихревые токи.

К магнитомягким материалам относят:

1. Технически чистое железо (электротехническая низкоуглеродистая сталь).
2. Электротехнические кремнистые стали.
3. Железоникелевые и железокобальтовые сплавы.
4. 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. 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 сплавы называют пермаллоями. Они обладают большой начальной магнитной проницаемостью в области слабых магнитных полей. Пермаллои применяют для сердечников малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей и реле.

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.

К магнитотвердым материалам относят:

1. Литые магнитотвердые материалы на основе сплавов Fe-Ni-Al.
2. Порошковые магнитотвердые материалы, получаемые путем прессования порошков с последующей термообработкой.
3. Магнитотвердые ферриты. Магнитотвердые материалы – это материалы для постоянных магнитов, использующихся в электродвигателях и других электротехнических устройствах, в которых требуется постоянное магнитное поле.

Вопросы для самоконтроля

1. Кристаллическое строение металлов, характеристики кристаллической решетки. Основные типы кристаллографических систем.
2. Основы теории сплавов. Взаимодействие компонентов, образующих сплав, в твердом состоянии.
3. Диаграмма состояния железо-углерод.
4. Классификация углеродистых сталей. Влияние примесей на их свойства.
5. Классификация чугунов. Структура и свойства. Процесс получения.
6. Механические свойства сталей и методы их определения.
7. Влияние пластической деформации на свойства сталей.
8. Классификация и виды термической обработки.
9. Сплавы на основе меди, их термическая обработка, область применения.
10. Сплавы на основе алюминия, их термическая обработка, область применения.
11. Сплавы на основе титана, их термическая обработка, область применения.
12. Сплавы на основе магния, их термическая обработка, область применения.
13. Полимерные материалы, классификация, свойства и область применения.

14. Резиновые материалы.
15. Композиционные материалы.
16. Механизм электропроводности твердых диэлектриков?
17. Пробой диэлектриков.
18. Физико-механические характеристики диэлектриков.
19. Диэлектрические материалы.
20. Неорганические материалы.
21. Проводники.
22. Каков механизм электропроводности металлов и чем определяется их удельная проводимость?
23. В чем заключается явление сверхпроводимости? Как и на каких материалах практически достигается сверхпроводимость?
24. Для какой цели служат проводниковые бронзы? Сравнить свойства бронз с чистой медью.
25. Механизм электропроводности полупроводников.
26. Магнитные материалы.
27. Причины возникновения ферромагнетизма в материалах, примеры ферромагнитных материалов и сплавов.
28. Характеристики ферромагнитных материалов и их зависимость от величины магнитного поля, его частоты, температуры.
29. Ферриты: свойства, области применения отличия от обычных ферромагнетиков.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа является одним из видов учебной деятельности обучающихся, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику изучаемой учебной дисциплины, индивидуальные особенности обучающегося.

Организация и руководство аудиторной самостоятельной работы

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы являются:

- выполнение практических работ по инструкциям; работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными;
- само- и взаимопроверка выполненных заданий;
- решение проблемных и ситуационных задач.

Выполнение практических работ осуществляется на занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Для обеспечения самостоятельной работы преподавателями разрабатываются методические указания по выполнению практической работы.

Работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными может реализовываться на практических занятиях. Преподаватель формулирует

цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само- и взаимопроверка выполненных заданий чаще используется на практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

Решение проблемных и ситуационных задач используется на лекционном, практическом и других видах занятий. Проблемная/ситуационная задача должна иметь четкую формулировку, к ней должны быть поставлены вопросы, ответы на которые необходимо найти и обосновать. Критерии оценки правильности решения проблемной/ситуационной задачи должны быть известны всем обучающимся.

Организация и руководство внеаудиторной самостоятельной работы

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Для методического обеспечения и руководства самостоятельной работой в образовательном учреждении разрабатываются учебные пособия, методические рекомендации по самостоятельной подготовке к различным видам занятий (семинарским, лабораторным, практическим и т.п.) с учетом специальности, учебной дисциплины, особенностей контингента студентов, объема и содержания самостоятельной работы, форм контроля и т.п.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;
- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, ребусов, кроссвордов, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ и др.); подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии, заданий в тестовой форме и др.;
- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; составление схем; решение ситуационных производственных (профессиональных) задач; подготовка к деловым и ролевым играм; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности; подготовка презентаций, творческих проектов; подготовка курсовых и выпускных работ; опытно-экспериментальная работа; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перинский, В.В. Материаловедение ионно-модифицированных диэлектриков: физические основы взаимодействия ускоренных ионов с многокомпонентными материалами: учебное пособие / В.В. Перинский, И.В. Перинская, С.Б. Вениг. — Саратов: Вузовское образование, 2021. — 104 с. — ISBN 978-5-4487-0787-2. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/107584.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Солнцев, Ю.П. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин; под редакцией Ю.П. Солнцева. — 7-е изд. — Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2020. — 783 с. — ISBN 078-5-93808-345-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97813.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

3. Материаловедение: учебное пособие / С.В. Давыдов, Д.А. Болдырев, Л.И. Попова, М.Н. Тюрков. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 424 с. — ISBN 978-5-9729-0417-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98417.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

4. Лихачева, Л.Б. Материаловедение. Лабораторный практикум: учебное пособие / Л.Б. Лихачева, Б.Н. Квашнин. — Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2020. — 120 с. — ISBN 978-5-00032-488-2. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/106444.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

5. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / А.А. Воробьев, А.М. Будюкин, В.Г. Кондратенко [и др.]. — Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 541 с. — ISBN 978-5-4497-0590-7. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL:

<https://www.iprbookshop.ru/96273.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/96273>

6. Перинский, В.В. Материаловедение: законы, методы, контроль : словарь / В.В. Перинский, И.В. Перинская. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 109 с. — ISBN 978-5-4497-0421-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/90535.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/90535>

7. Мороз, Н.К. Электротехническое материаловедение: учебник / Н.К. Мороз. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 148 с. — ISBN 978-5-9729-0390-0. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98357.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

8. Халдеев, В.Н. Материаловедение: учебник для вузов / В.Н. Халдеев. — 2-е изд. — Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2019. — 441 с. — ISBN 978-5-9515-0408-1. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/101923.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

9. Угольников, А.В. Электротехническое материаловедение: учебное пособие / А.В. Угольников. — Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 85 с. — ISBN 978-5-4497-0021-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/82234.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/82234>