

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные знания науки о материалах — это результат теоретических и экспериментальных исследований, инженерных работ, изобретений и открытий, накопленных поколениями наших предшественников, которые от Античности до наших дней возводили здание современного материаловедения.

Наука о материалах основывается на фундаменте физики, химии, механики, а также прикладных наук — металлостроения, черной, цветной и порошковой металлургии, знаний о композитах, покрытиях, пленках, керамических материалах, синтетических монокристаллах, а также о технологиях получения материалов и изделий из них.

Достаточно вспомнить, что древняя история человечества неразрывно связана с открытием, использованием и технологиями обработки камня, дерева, металла. Это и определило название отдельных эпох — каменный век, бронзовый век.

В Средние века лучшие умы Европы находились под влиянием ложных представлений, порожденных алхимией. В то же время на Востоке эпоха Средневековья была отмечена открытием фарфора в Китае (620), а индийские и иранские металлурги разработали технологии получения высококачественной дамасской стали.

В эпоху Возрождения (XV–XVII вв.) вновь возник интерес к получению металлов и сплавов. Это время породило плеяду великих ученых-естествоиспытателей, которые отрицали идеи алхимиков, приступили к строительству на фундаменте эксперимента современных научных знаний в материаловедении.

Среди многих наиболее значимых личностей этой эпохи, внесших большой вклад в науку о материалах, следует вспомнить:

- Ванноччо Бирингуччо, итальянского металлурга-литейщика, автора 10-томного сочинения «Пиротехния»;
- Роберта Гука, английского механика и естествоиспытателя, открывшего один из фундаментальных законов сопротивления ма-

териалов — закон пропорциональности между силой, приложенной к упругому телу, и его деформацией;

- Роберта Бойля, английского физика и химика и многих других.

Рациональный XVIII в. принес множество открытий в области фундаментальных наук, в первую очередь математики, механики, физики, химии и технологических разработок в металлургии, керамическом производстве, стекольной промышленности.

В области практического материаловедения была создана промышленная технология выплавки чугуна путем замены древесного угля каменноугольным коксом, разработан пудлинговый процесс получения железа.

XIX в. — время бурного развития науки и технологий. Начало и конец этого периода отмечены выдающимися событиями, тесно связанными с наукой о материалах. В 1802 г. Петровым было открыто явление электрической дуги, возникающей между двумя угольными электродами, впоследствии получившее развитие в создании источников света, электросварки и электрометаллургии. А конец века ознаменовался открытием радиоактивности (А. Беккерель, П. и М. Кюри), которое в наступающем XX в. стало основой ядерной физики и науки о радиоактивных материалах.

Т. Юнг, С. Пуассон, В. Кирпичев и другие заложили основы теории упругости и пластичности твердых тел.

В области теоретической и прикладной химии были сделаны следующие открытия:

- предложена молекулярная и атомистическая модели строения вещества (А. Авогадро, Д. Дальтон);

- открыт Периодический закон химических элементов (Д. И. Менделеев);

- создана химическая термодинамика равновесных процессов (Дж. У. Гиббс, Г. Гельмгольц, У. Т. Томсон, Р. Ю. Клаузиус, Я. Х. Вант-Гофф, В. Нернст, Н. Н. Бекетов, А. Л. Ле Шателье);

- разработана теория химической кинетики (С. Аррениус, В. Нернст, В. Оствальд);

- открыты и получены химические элементы, неизвестные ранее;

- созданы методы спектрального (Р. В. Бунзен, Г. Р. Кирхгоф) и химического (Г. Розе) элементного анализа;

- разработаны теоретические принципы термохимии (Н. Н. Бекетов, Г. И. Гесс, П.-Э. Бертло, Х. Томсен);

- созданы методы высокотемпературной химии (Й. Я. Берцелиус, Ф. Велер, А. Муассон), позволяющие синтезировать тугоплавкие соединения — бориды, нитриды, карбиды, оксиды, силициды, — впоследствии ставшие основой конструкционной и функциональной керамики;

- открыты теоретические основы электрохимии (М. Фарадей, Р. Клаузиус, Ф. Кольрауш) и на их основе разработаны процессы гальванопластики, электрофореza и получения гальванических покрытий, а также методы и технологии получения металлов электролизом расплавов.

В области прикладного материаловедения были сделаны следующие открытия:

- создан современный вариант доменного процесса производства чугуна (Э. А. Каупер, М. К. Курако, В. К. Мирецкий);

- разработаны основные металлургические процессы производства стали путем передела жидкого чугуна в регенеративных печах (Ф. Сименс, К. В. Сименс, П. Мартен) и конвертерах (Г. Бессемер, С. Д. Томас, В. Е. Грум-Гржимайло);

- созданы методы термической и термохимической обработки с целью получения высококачественных конструкционных и инструментальных углеродистых сталей (П. П. Аносов, С. И. Бадаев, И. Х. Гамель, А. Крупп, П. М. Обухов, К. П. Поленов, К. П. Пятов);

- разработаны научные основы металловедения, включая представления о фазовых превращениях в сталях, позволяющие оптимизировать режимы термической обработки сталей; построена диаграмма состояния «железо — углерод» (Д. К. Чернов, Н. В. Калакуцкий, А. А. Ржешотарский);

- предложены первые марки легированных сталей (Р. А. Гадфильд, Р. Ф. Мюшет);

- создано оборудование и технология прокатки бесшовных труб (М. Маннесман, Р. Маннесман);

- разработаны методы порошковой металлургии для получения ковкой платины (У. Х. Волластон, П. Г. Соболевский, В. В. Любарский);

- созданы электротермические технологии и оборудование — электроплавка в дуговых печах (П. Эру, Э. Стассано); электросварка, резка и наплавка металлов (Н. Н. Бенардос, Н. Г. Славянов); печи сопротивления и технологии получения искусственного графита и карбида кремния (Э. Ачесон);

- разработаны технологии получения высококачественного оптического и химически стойкого стекла (Ф. О. Шотт).

Российские ученые сыграли ведущую роль в развитии металлостроения и материаловедения. Одним из них является П. П. Аносов, который в 1831 г. впервые применил микроскоп в разработке методики исследования строения стали. В 1868 г. Д. К. Чернов открытием критических точек в стали установил подлинно научную основу изменения её свойств при термической обработке, за что получил международное признание.

В 1900 г. на Всемирной выставке в Париже известный французский металлург Г. Монгольфье сказал: «Считаю своим долгом открыто и публично заявить в присутствии стольких знатоков и специалистов, что наши заводы и всё сталелитейное дело обязаны настоящим успехом в значительной мере трудам и исследованиям русского инженера Д. К. Чернова, и приглашаю всех выразить ему нашу признательность и благодарность от имени всей металлургической промышленности». В 1903 г. вышла книга американского металлурга Хоу со следующим посвящением: «Профессору Дмитрию Константиновичу Чернову, отцу металлургии железа».

В XIX в. были сделаны не только основополагающие открытия, заложившие фундамент современного материаловедения, но и созданы научные школы, начали издаваться специализированные научные журналы, способствовавшие обмену идеями и результатами исследований. С учетом важности результатов работ в области материаловедения наметилось лидерство таких стран, как Россия, Великобритания, Германия, Франция, Швеция.

XX в. — эпоха революционных открытий в области фундаментальных наук и технологий. Начало XX в. было ознаменовано появлением нескольких выдающихся теоретических работ,

изменивших мировоззрение и повлиявших на дальнейшее развитие науки. Речь идет в первую очередь о теории относительности и законе взаимосвязи массы и энергии А. Эйнштейна, открывших пути создания ядерных технологий.

К основополагающим научным направлениям XX в., определяющим прогресс материаловедения и в наступившем XXI в., относятся:

- квантовая теория твердого тела, теория реальных кристаллов и физика дефектов в твердом теле;
- теория и экспериментальные достижения квантовой электроники;
- теория сверхпроводимости и сверхпроводящие материалы;
- металлургия тугоплавких, легких, жаропрочных, прецизионных и электротехнических сплавов;
- порошковая металлургия;
- физикохимия и технология радиоактивных материалов;
- материаловедение полупроводников, диэлектриков, магнетиков;
- физикохимия и технология оптических материалов;
- материаловедение композитов;
- химия и материаловедение полимеров;
- физикохимия и технология соединения разнородных материалов (сварка, склеивание и т. д.);
- химия твердого тела, химия и физика поверхности, теория и практика гетерогенного катализа;
- физикохимия и технология сверхчистых материалов, монокристаллов, тонких пленок, аморфных, аморфно-кристаллических, квазикристаллических, градиентных и направленно кристаллических материалов и покрытий;
- экстремальные технологии в материаловедении — высокие давления, глубокий вакуум, импульсные воздействия, воздействие мощных энергетических потоков на материалы — плазма, лазерное излучение, электронный и плазменно-дуговой нагрев и перегрев, ионная имплантация и др.;
- нанотехнологии в материаловедении;
- компьютерное моделирование в материаловедении.

Реализация приведенных направлений была бы невозможной без создания принципиально новых методов и аппаратуры для исследования и характеристики разрабатываемых материалов и процессов их формирования. Были разработаны методы химического, рентгеноструктурного, рентгеноспектрального и ядерно-физического анализа, электронной просвечивающей, сканирующей и туннельной микроскопии, методы определения электро- и теплофизических, механических и трибологических свойств материалов.

Перечисленные направления и достижения в области материаловедения сформировались в XX в. благодаря интернациональному содружеству замечательных ученых, многие из которых были отмечены Нобелевской премией и другими высокими наградами.

Существенный вклад в развитие науки о металлических материалах внесли Н. С. Курнаков, А. А. Байков, А. М. Бочвар, С. Т. Кишкин, С. С. Штейнберг, Г. П. Курдюмов, А. П. Гуляев и их последователи. Среди известных зарубежных ученых, без трудов которых немыслимы успехи развития материаловедения, следует назвать Ф. Осмонда, Г. Таммана, Э. Бейна, М. Мейла, Г. Розебума и др.

Анализ развития металлургии выплавки стали свидетельствует о том, что если мировое производство стали в 1900 г. составляло 40 млн т в год, то к 2015 г. оно достигло 1 млрд 650 млн т в год, а доля производства остальных металлов, вместе взятых, составляет лишь 160 млн т в год, неметаллических материалов — примерно 200 млн т в год. Поэтому, если строго следовать естественно-исторической классификации, мы живем в железном веке, которому более 5 тыс. лет, и ничто не свидетельствует о том, что в обозримом будущем появится конкурент железу и его сплавам в качестве основного материала современной цивилизации. Металлургия черных металлов, несомненно, будет выполнять роль базовой отрасли материальной культуры планеты и в XXI в., но ее формы претерпят существенные изменения.

Важнейшими конструкционными материалами ближайшего будущего станут наноматериалы на основе сплавов титана, циркония, бериллия, ниобия, вольфрама, лития, аморфные, керамические и композиционные материалы, сплавы с эффектом памяти формы и др.

В настоящее время возродился интерес к изучению поведения металлов под влиянием энергии взрыва, примененного в начале

1960-х гг. при сварке взрывом, которая уже используется в промышленности. Это позволило обнаружить, что высокие плотности энергии определяют поведение металлов и сплавов в обширной области фазовой диаграммы, занимая область от твердого тела и жидкости до нейтрального газа, покрывая фазовые границы плавления и кипения, а также область перехода «металл — диэлектрик». Проблема перехода «металл — диэлектрик» в настоящее время получила значительное развитие по ударно-волновому сжатию диэлектриков.

Фундаментальные работы в области физики экстремальных состояний дадут новый импульс и в создании новых материалов, что убедительно подтверждено при проведении опытов с использованием ядерных взрывов с целью изменения свойств в экстремальных условиях, т. е. при давлениях до сотен миллионов атмосфер. Создание и получение новых материалов с новыми свойствами приведет к созданию и принципиально новых конструкций.

В XXI в. материаловедение становится одной из главенствующих фундаментальных и прикладных наук, на которые опирается технический прогресс и дальнейшее развитие общества, где средства коммуникации, накопления и передачи информации и связанные с ними проблемы создания вооружения и новой техники приобретают новое значение.

ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение — это дисциплина, которая изучает способы получения материалов, их свойства и различные способы обработки, применяемые для производства деталей машин и различных сооружений. Известно, что различные машины, механизмы, станки, тракторы, танки, самолеты, корабли, орудия сделаны из металла, т. е. основным конструкционным материалом в машиностроении, судостроении и многих отраслях техники является металл. Для постройки только одного крейсера требуется 20 000–30 000 т металла, а для подводной лодки — 8000–10 000 т. Основой материаловедения является металловедение.

Металловедение — наука, изучающая строение и свойства металлов и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами. Металловедение позволяет выбирать технически целесообразные и экономически выгодные металлы и сплавы для конкретных условий эксплуатации, разрабатывать новые сплавы, изменять в требуемых направлениях свойства уже используемых металлов и сплавов, применять наиболее рациональные режимы и методы термической обработки. В этом заключается наряду с теоретической и практическая ценность металловедения.

При выборе материала для конструкций исходят из комплекса свойств, которые подразделяют на механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные.

К физическим свойствам металлов и сплавов относятся температура плавления, плотность, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения, электросопротивление и электропроводимость, а также свойства, проявляющиеся при взаимодействии материала с физическими полями (гравитационным, температурным, электрическим, магнитным и т. д.). Физические свойства сплавов обусловлены их составом и структурой.

К химическим свойствам сплавов относятся способность их к химическому взаимодействию с агрессивными средами, а также антикоррозионные свойства.

Способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки определяют по его технологическим свойствам. К технологическим свойствам металлов и сплавов относятся литейные свойства, деформируемость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом. Эти свойства позволяют производить формоизменяющую обработку и получать заготовки и детали машин.

Литейные свойства определяются способностью расплавленного металла или сплава к заполнению литейной формы, степенью химической неоднородности по сечению полученной отливки, а также величиной усадки — сокращением размеров при кристаллизации и дальнейшем охлаждении.

Деформируемость — это способность принимать необходимую форму под влиянием внешней нагрузки без разрушения и при наименьшем сопротивлении нагрузке.

Свариваемость — это способность металлов и сплавов образовывать неразъемные соединения требуемого качества.

Обрабатываемостью называют свойства металла поддаваться обработке резанием. Критериями обрабатываемости являются режимы резания и качество поверхностного слоя.

Технологические свойства определяют выбор материала для конструкции. Разрабатываемые материалы могут быть внедрены в производство только в том случае, если их технологические свойства удовлетворяют необходимым требованиям.

Современное автоматизированное производство, оснащенное гибкими системами управления, нередко предъявляет к технологическим свойствам материала особые требования, которые должны позволять осуществлять комплексный технологический процесс на всех стадиях получения изделия с заданным ритмом, например проведение сварки на больших скоростях, ускоренный темп охлаждения отливок, обработка резанием на обрабатывающих центрах и т. п., при обеспечении необходимого условия — высокого качества получаемой продукции.

К эксплуатационным свойствам в зависимости от условия работы машины или конструкции относят износостойкость, коррозионную стойкость, хладостойкость, жаропрочность, жаростойкость, антифрикционность материала и др.

Износостойкость — способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

Коррозионная стойкость — сопротивление сплава действию агрессивных кислотных и щелочных сред.

Хладостойкость — способность сплава сохранять пластические свойства при температурах ниже 0°C.

Жаропрочность — способность сплава сохранять механические свойства при высоких температурах.

Жаростойкость — способность сплава сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах.

Антифрикционность — способность сплава прирабатываться к другому сплаву.

Эти свойства определяются в зависимости от условия работы машин или конструкций специальными испытаниями.

При выборе материала для создания технологичной конструкции необходимо комплексно учитывать его прочностные, технологические и эксплуатационные характеристики.

Прогресс в области создания новой техники связан с работой по ряду взаимосвязанных направлений: совершенствование и создание конструкций машин, аппаратов и других изделий; разработка и применение новых материалов для деталей машин и приборов, для обрабатывающего инструмента; разработка и широкое применение новых технологических процессов.

В кораблестроении для надводных кораблей и подводных лодок требуются специальные материалы высокой прочности и устойчивые против коррозии в морской воде.

Различные условия работы той или иной детали машин или конструкции в целом требуют применения материала с вполне определенными свойствами, которые обеспечивают надежность работы при заданных условиях эксплуатации.

Важное значение для дальнейшего технического прогресса имеет разработка и применение новых технологических процессов. Все шире внедряются новые методы сварки (плазменная, электронно-лучевая,

лазерная и др.), новые методы получения точных отливок, прогрессивные методы штамповки и прокатки, механизация и автоматизация технологических процессов. Поистине революционные возможности открывают создание и внедрение миниатюрных управляющих машин, промышленных роботов на основе использования наноматериалов. Непрерывно увеличивается выпуск обрабатывающих центров металлорежущих станков с ЧПУ. Успешно внедряются гибкие производственные системы (ГПС).

Длительная эксплуатация корабельных машин вызывает износ, а следовательно, машины и механизмы требуют периодического ремонта. Текущий ремонт корабельных машин и механизмов всецело лежит на специалистах БЧ-5. Отсюда понятно, что для выполнения таких работ необходимо знать не только свойства материалов, но и уметь правильно выбирать необходимый материал и технологический процесс для изготовления или восстановления деталей, вышедших из строя. Поэтому целью освоения дисциплины является подготовка специалиста, способного работать в профессиональной области на основе овладения им в процессе обучения профессиональными компетенциями в соответствии с требованиями ФГОС ВПО 3-го поколения и квалификационными требованиями.

Задачей дисциплины «Технология конструкционных материалов» является профессиональная подготовка курсантов по вопросам, связанным с конструкционными материалами и технологическими процессами в объеме, необходимом для изучения специальных дисциплин и решения практических задач при изготовлении и ремонте деталей и отдельных узлов ПЛ и НК.

В учебнике излагаются основы строения и свойства металлов и сплавов, неметаллических и композиционных материалов; их термической, лазерной и химико-термической обработки; методы создания изделий из современных материалов и в заданных условиях эксплуатации с опорой на новейшие достижения науки и техники применительно к специальностям Военно-морского политехнического института ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия».

«Технология конструкционных материалов» является одной из базовых дисциплин для изучения сопротивления материалов, теории механизмов и машин, деталей машин, устройства корабля, корабельных атомных, паросиловых и дизельных энергетических установок,

паровых и газовых турбин, двигателей внутреннего сгорания, вспомогательных механизмов и систем.

Основными принципами подготовки курсантов по дисциплине являются фундаментальность и военно-прикладная направленность. Фундаментальность подготовки достигается изучением теоретических основ материаловедения и обработки материалов; физических и металлургических процессов сварки, пайки и огневой резки преимущественно материалов, используемых в кораблестроении, отработкой навыков технологических операций, применяемых в корабельных условиях.

Основой теоретической подготовки курсантов являются лекции, на которые отводится 50% учебного времени. Главная задача лекционной части дисциплины — раскрытие физической сущности явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях эксплуатации и ремонта; их влияние на свойства материалов; раскрытие взаимосвязи между составом, строением и свойствами материалов; изучение сущности различных способов обработки материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей и узлов кораблей.

Лабораторные занятия имеют цель — практическое освоение научно-теоретических положений дисциплины, овладение техникой экспериментальных исследований и анализа полученных результатов, привитие навыков работы с лабораторным оборудованием, контрольно-измерительными приборами и вычислительной техникой.

Практические занятия проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков при выполнении контрольных испытаний металлов и основных технологических работ на лабораторных занятиях по материаловедению, на практических занятиях по техническим измерениям, сварке, резке и пайке металлов и сплавов, обработке металлов резанием, слесарным работам на основе индивидуально заданных заданий.

Самостоятельная работа курсантов является составной частью учебного процесса и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, а также выполнение учебных заданий и подготовку к предстоящим занятиям.

Учебник базируется на многолетнем опыте преподавания дисциплин в ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». В нем

сохраняются основополагающие положения ранее изданных учебных пособий. В связи с корректурой учебной программы и необходимостью выполнения квалификационных требований к военно-профессиональной подготовке выпускников ВМПИ впервые по этой дисциплине написан учебник, в котором сделана попытка изложить с единых методологических позиций комплекс вопросов, связывающий учебный материал в единую систему. Учебник предназначен для обучения, воспитания, развития познавательной активности мыслительной деятельности курсантов; удовлетворяет требованиям педагогики и психологии высшей школы; обеспечивает интерес, конкретность, доступность и доказательность излагаемого материала.

Автор выражает признательность коллективу кафедры химии и материаловедения ВМПИ за активную помощь в подготовке и оформлении учебника.

Глава 1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

1.1. Строение металлов, типы кристаллических решёток, анизотропия кристаллов

Металлами называются химические элементы, характерными признаками которых являются высокая тепло- и электропроводность; способность отражать электромагнитные волны (в связи с этим проявляется блеск и непрозрачность); повышенная способность к пластическому деформированию, т. е. способность изменять свою форму без нарушения сплошности; термоэлектронная эмиссия, т. е. способность испускать электроны при нагреве. Как отмечал М. В. Ломоносов, «металлы — светлые тела, которые ковать можно». Все металлы и металлические сплавы в твердом состоянии являются кристаллическими телами, в которых атомы занимают строго определенные пространственные положения.

Порядок расположения атомов характеризуется *кристаллической решеткой*, т. е. в кристаллических телах атомы расположены в определенной закономерности, образуя правильные геометрические фигуры. Если изобразить атомы в виде шариков и соединить их линиями, получится решетка, которая дает представление о расположении атомов в кристалле металла. В кристаллической решетке можно выделить геометрически правильный мельчайший объем, называемый *элементарной кристаллической ячейкой*. Примером элементарной кристаллической ячейки металла является объемно-центрированный куб (ОЦК), который состоит из 8 атомов в вершинах и одного атома в центре (рис. 1.1а). Элементарная ячейка, называемая *гранецентрированным кубом* (ГЦК), состоит из 14 атомов, из которых 8 атомов находятся в вершинах куба, а 6 — в центрах граней (рис. 1.1б). Гексагональную ячейку (ГП) составляют 17 атомов: 12 атомов по углам, 2 — в основаниях и 3 атома — внутри средней плоскости призмы (рис. 1.1в).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru