# Содержание

Введение

1. Основные компоненты современного ядерного реактора

2. Коррозионно-стойкие материалы

2.1 Общая характеристика коррозионно-стойких материалов

2.2 Новые коррозионно-стойкие материалы

2.3 Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали

2.4 Металлокерамические материалы

2.5 Конструкционные (коррозионно-стойкие) электротехнические сплавы

3. Методы защиты металлов используемых в энергетике от коррозии, их эффективность

Задача

Выводы

Литература

# Введение

К настоящему времени доля электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях (АЭС), составляет около 13% всей производимой в России электроэнергии, причем в последние три года прирост выработки электроэнергии на АЭС составил 6—7%. В соответствии с долгосрочным прогнозом Минатома развития атомной энергетики до 2020 г., средний прирост производства электроэнергии на АЭС составит 5% в год. Как в настоящее время, так и в ближайшие 20 лет отечественная ядерная энергетика будет базироваться на корпусных водоохлаждаемых реакторах на тепловых нейтронах с водой под давлением типа ВВЭР и кипящих канальных уран-графитовых реакторах на тепловых нейтронах с водяным теплоносителем типа РБМК. Отечественные транспортные атомные энергетические установки также оснащены тепловыми водо-водяными реакторами с водой под давлением типа ВВЭР.

К числу требований, предъявляемых к конструкционным материалам атомных энергетических установок (АЭУ), относится необходимость сохранения в процессе длительной эксплуатации высокого уровня механических характеристик, и, прежде всего, деформационной способности, как элементов активной зоны, так и корпусов ядерных реакторов. Нейтронное облучение даже достаточно низкими повреждающими дозами (порядка 1020 нейтр/см2) снижает деформационную способность сталей и сплавов как при высоких, так и при низких температурах эксплуатации, повышает критическую температуру хрупко-вязкого перехода в материалах с ОЦК- и ГПУ-решетками, смещая ее в область положительных (рабочих) температур.

Интервал максимального проявления низкотемпературного радиационного охрупчивания применяемых и перспективных конструкционных материалов с различным типом кристаллической решетки (аустенитных сталей и сплавов, ферритных и ферритно-мартенситных хромистых сталей, титан-циркониевых сплавов и т.д.) совпадает с основным рабочим интервалом температур (200-350С) элементов активной зоны транспортных и стационарных водо-водяных энергетических реакторов. В связи с отмеченным, низкотемпературному радиационному охрупчиванию уделяется основное внимание при изучении воздействия нейтронного облучения на аустенитные хромоникелевые стали и сплавы, являющиеся одними из наиболее перспективных конструкционных материалов активной зоны атомных энергетических установок, а также на материалы с ОЦК- и ГПУ-решетками.

Достигнутые к настоящему времени успехи в изучении явлений низкотемпературного радиационного охрупчивания и радиационной хладноломкости связаны с работой научных коллективов, возглавлявшихся А.Д.Лмаевым, С.Н.Вотиновым, И.В.Горыниным, В.Ф.Зеленским, Ю.К.Конобеевым, И.С.Лупаковым, И.М.Неклюдо-вым, А.М.Паршиным, П.А.Платоновым, В.В.Рыбиным, В.А.Цыкановым и др.

К настоящему времени в области низкотемпературного радиационного упрочнения и охрупчивания проведены многочисленные исследования, касавшиеся, в основном, перлитных сталей, применяемых для изготовления корпусов водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) транспортных и стационарных АЭУ. Вопросам низкотемпературного радиационного упрочнения и охрупчивания коррозионно-стойких сталей и сплавов посвящено значительно меньшее количество работ, в которых не учитывался динамический характер пластической деформации, связанная, с этим неоднородность и пластическая нестабильность, а также взаимодействие дислокационной структуры в процессе ее эволюции с продуктами структурных превращений на различных стадиях распада метастабильных твердых растворов. Поэтому, не смотря на длительное время, прошедшее с начала выполнения работ в этой области, не было предложено единой концепции низкотемпературного радиационного упрочнения и охрупчивания, учитывающей влияние условий облучения, испытания, а также структурных параметров, на развитие эффектов пластической нестабильности. Разработка такой концепции позволит сформулировать пути повышения пластичности, предельной повреждающей дозы, а, следовательно, и ресурса работы конструкционных материалов активной зоны в области низкотемпературного радиационного охрупчивания.

Теоретический и практический интерес представляет распространение концепции низкотемпературного упрочнения и охрупчивания сталей и сплавов под действием облучения на другие способы упрочнения материалов и разработка концепции изменения максимально достижимой для данного материала прочности в зависимости от его качества, учитывающей влияние структурных параметров на развитие эффектов пластической нестабильности.

Цель работы – характеристика коррозионно-стойких конструкционных материалов и возможности их применения в области энергетики.

Основные задачи работы:

1. рассмотреть основные компоненты современного ядерного реактора;
2. дать характеристику коррозионно-стойким материалам;
3. методы защиты металлов используемых в энергетике от коррозии, их эффективность.

# 1. Основные компоненты современного ядерного реактора

Для выработки электроэнергии в настоящее время в большинстве стран применяют легководные реакторы (LWR). Реакторы этого типа имеют две модификации: реакторы с водой под давлением (PWR) и кипящие реакторы (BWR), из которых имеют большее распространение реакторы с водой под давлением.

На рис. 1 представлена схема АЭС, оборудованная легководным реактором с водой под давлением. В корпусе реактора находится активная зона и первый контур. В первом контуре циркулирует вода, являющаяся теплоносителем и замедлителем. Вода отводит тепло от активной зоны к теплообменнику (парогенератор), в котором тепло передается второму контуру, где вырабатывается пар. Преобразование энергии происходит в турбогенераторе, где пар используется для выработки электроэнергии. Первый контур со всеми трубопроводами и компонентами заключен в специально созданную конструкцию, называемую контейнментом. Таким образом, любые радиоактивные продукты деления, которые могут выйти из топлива в воду первого контура, изолируются от окружающей среды.

В первом контуре вода находится под давлением 15,5 МПа и при максимальной температуре 315 °С. Эти условия предохраняют воду от кипения, поскольку точка кипения воды при давлении 15,5 МПа значительно выше 315 °С.

Топливо состоит из слабообогащенного диоксида урана (UO2), изготовленного в виде цилиндрических таблеток размером 8 × 12 мм. Таблетки спекаются при высокой температуре, обрабатываются до нужного размера и укладываются в трубки, которые заполняются гелием и герметически запаиваются. Получаются длинные топливные стержни с диаметром около 10 мм (рис. 2). Затем стержни собираются в сборки. Сборка является топливной единицей, содержащей большое количество энергии. Обычная 1000 МВт станция содержит около 200 топливных сборок и от 40 000 до 50 000 топливных стержней. Общее количество топлива в активной зоне реактора PWR мощностью 1000 МВт равно приблизительно от 100 до 110 т диоксида урана.

Рис. 1. Схема передачи тепла между элементами станции PWR:

1 — бетонная оболочка; 2 — нержавеющая планировка; 3 — турбина; 4 — генератор; 5 — конденсатор; 6 — градирня; 7 — парогенератор; 8 — циркулярный насос; 9 — корпус реактора; 10 — активная зона; 11 — компенсатор давления; 12 — контейнмент

В каждом реакторе от 16 до 25 ячеек (в зависимости от конструкции) оставлены свободными для регулирующих стержней. Они перемещаются при помощи управляющего стержня, проходящего через крышку корпуса реактора. Пар, выходящий из турбины, конденсируется в водоохлаждаемом конденсаторе, с помощью которого сбрасывается оставшаяся тепловая энергия. В некоторых системах охлаждения используется градирни.

Рис. 2. Размещение топлива в тепловыделяющем элементе для промышленных станций с реактором типа LWR: 1 — топливная таблетка; 2 — газовый зазор; 3 — заглушка; 4 — пружина; 5 — изолятор; 6 — оболочка

Таблица 1 Компоненты ядерного реактора и материалы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Компонент | Применение | Материал |
| Топливо | Для осуществления реакции выделения и выработки энергии | 233U, 235U, 239Pu, 241Pu |
| Теплоноситель | Для отвода тепла из активной зоны реактора | Обычная вода, тяжелая вода, органические жидкости, CO2, воздух, He, Na, Bi, эвтектика натрий — калий |
| Замедлитель | Для замедления быстрых нейтронов деления | Обычная вода, тяжелая вода, графит, Be, оксид бериллия |
| Отражатель | Для уменьшения утечки нейтронов, для защиты персонала от ионизирующего излучения | То же, что и в замедлителе |
| Управляющие стержни | Для контроля критичности и мощности | Cd, B, Hf, Gd, Ag, In |
| Конструкционные материалы | Для оболочки топлива, для сооружения активной зоны | Коррозионностойкая Cr—Ni сталь, сплавы на основе Al и Zr |

Стоимость оборудования станции, осуществляющего выработку и передачу энергии, — корпус реактора, теплообменники, насосы, емкости, трубопроводы, составляет около 90 % от стоимости станции. Оборудование должно быть правильно сконструировано и изготовлено из экономичных, но гарантированно надежных материалов.

Радиационная повреждаемость конструкционных материалов

Ядерная энергетика предъявляет повышенные требования к используемым конструкционным материалам, технологии их производства и контролю работоспособности. Конструкционные материалы под действием облучения испытывают структурные превращения, оказывающие отрицательное влияние в первую очередь на механические свойства и коррозионную стойкость. Из всех видов облучения (нейтронами, α- и β-частицами, γ-излучения) наиболее сильное влияние оказывает нейтронное облучение.

Радиационностойкими материалами называют материалы, сохраняющие стабильность структуры и свойств в условиях нейтронного облучения.

Радиационную среду принято характеризовать нейтронным спектром и нейтронным потоком. Спектр определяется дискретными уровнями энергии нейтронов. В зависимости от энергии нейтронов, используемых для осуществления цепной ядерной реакции, различают реакторы на тепловых (медленных) и быстрых нейтронах. Нейтронный поток характеризует интенсивность радиационной среды и выражается числом нейтронов с энергией Е > 0,1 МэВ, пересекающих площадь 1 см2 за 1 с (нейтрон/см2 \*с). Нейтронный поток, суммированный по времени (нейтрон/см2), или флюэнс нейтронов, характеризует суммарную дозу облучения и является мерой накопления радиационного воздействия. Более точной характеристикой дозы облучения является суммарное количество смещений в расчете на один атом (смещ/ат). Соударения вызывают смещения атомов или каскад смещений в решетке в зависимости от количества энергии, передаваемой нейтроном атому металла. Подвергшийся удару нейтроном первый атом, подобно биллиардному шару, ударяя по другим атомам, вызывает в решетке дополнительные смещения. В результате развития каскада образуются объемы с высокой концентрацией вакансий, по периферии окруженные зонами с повышенной плотностью межузельных атомов. Один нейтрон способен создать в алюминии более 6000 вакансий, в бериллии с большей энергией межатомной связи — более 450 вакансий.

Помимо смещений большие нейтронные потоки за счет своей энергии возбуждают атомы, усиливают их колебания (это явление Инденбом назвал "радиационной тряской"), что сопровождается локальным повышением температуры. Рост температуры способствует радиационному отжигу, сопровождающемуся аннигиляцией вакансий и межузельных атомов. Высокие температуры и нейтронное облучение могут вызвать в материале ядерные реакции с образованием гелия, что в свою очередь приводит к появлению газовых пузырей по границам зерен.

Структурные изменения приводят к изменению механических свойств. В результате при температуре ниже температуры рекристаллизации — низкотемпературного облучения — металл упрочняется, но теряет вязкость и пластичность. Влияние суммарного нейтронного потока Ф на временное сопротивление, предел текучести и пластичность при 20 °С аустенитной хромоникелевой стали. Сталь приобретает максимальное упрочнение при Ф = 3·1019 нейтрон/см2, причем σ0,2 растет интенсивнее σв, что приводит к снижению способности к деформационному упрочнению. Дальнейшее увеличение потока практически не влияет на свойства стали.

Действие низкотемпературного облучения на свойства напоминает наклеп — холодную пластическую деформацию. Однако, несмотря на такую аналогию, механизмы воздействия радиационного повреждения и наклепа на структуру материала принципиально различны, поскольку радиационное повреждение связано преимущественно с образованием точечных дефектов, тогда как деформационное упрочнение связано в основном с появлением линейных дефектов.

В условиях облучения выше температуры рекристаллизации (высокотемпературное облучение) роль точечных радиационных дефектов снижается. Вакансии и межузельные атомы частично аннигилируют друг с другом, частично взаимодействуют с примесями, дислокациями, границами раздела. Оставшиеся межузельные атомы и вакансии объединяются в кластеры, которые в свою очередь могут превращаться соответственно в дислокационные петли межузельного или вакансионного типов.

Высокотемпературное облучение активизирует диффузионные процессы и способствует распаду пересыщенных твердых растворов (старению). Этим объясняется высокотемпературная хрупкость аустенитных хромоникелевых сталей. Активизацией диффузионных процессов также объясняется снижение длительной прочности при облучении. Падение жаропрочности растет с увеличением температуры и интенсивности нейтронного потока.

При высокотемпературном облучении большими нейтронными потоками в аустенитных сталях и сплавах на основе Ni, Ti, Mo, Zr, Be зарождаются и растут вакансионные поры, а более подвижные межузельные атомы уходят на дальние стоки (краевые дислокации, границы зерен и др.), что приводит к заметному увеличению объема металла — радиационному распуханию.

Объем аустенитных сталей, облученных при рабочей температуре 450 °С, линейно растет с увеличением нейтронного потока. Объем может увеличиться на 20 % и более. Распухание усиливается в результате скопления в микропорах газов, образовавшихся при облучении.

Легирование хромоникелевых сталей Ti, Mo, Nb снижает их распухание. Высокохромистые ферритные и перлитные стали с меньшей растворимостью водорода характеризуются меньшей склонностью к распуханию.

Воздействие облучения на полимерные материалы приводит к разрыву полимерных цепочек. Смещение обрывков цепей и свободных радикалов изменяет свойства полимеров и способствует их разрушению.

При облучении резко снижается коррозионная стойкость металлов и сплавов. Вода и водяной пар являются теплоносителями в водном и водно-паровом трактах АЭС. Вследствие радиолиза меняется состав электролита — происходит разрушение молекул воды с образованием ионов и атомов кислорода, водорода и щелочной гидроксильной группы —OH. Конструкционные реакторные материалы, подвергающиеся облучению, работают в контакте с водой и паром. Образующийся кислород окисляет металл, а водород его наводораживает и тем самым дополнительно охрупчивает. Радиолиз воды и увеличение концентрации гидрооксильных групп способствует растворению поверхностных оксидных пленок, в обычных условиях защищающих металл от коррозии.

Скорость коррозии сплавов на основе алюминия в водной среде в условиях облучения возрастает в 2–3 раза. Аустенитные хромоникелевые стали во влажном паре подвержены межкристаллической коррозии и коррозионному растрескиванию.

Помимо изменения механических свойств (упрочнению и снижению пластичности) и вакансионного распухания, радиационное повреждение сталей приводит к появлению новых эффектов: радиационной ползучести, высоко- и низкотемпературному радиационному охрупчиванию (ВТРО и НТРО).

# 2. Коррозионностойкие материалы

## 2.1 Общая характеристика коррозионностойких материалов

Коррозионностойкие материалы — металлические и неметаллические материалы, способные противостоять разрушительному действию агрессивных сред; применяются для изготовления аппаратов, трубопроводов, арматуры и др. изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия.

POS-материалы — POS материалы (POS materials) это материалы, способствующие продвижению брэнда или товара на местах продаж (шелфтокеры, воблеры, ценники, стопперы, диспенсеры, пластиковые лотки, флажки, упаковка, наклейки, декоративные магниты.

Материалы — получаемая из природного сырья посредством обработки, переработки материальная субстанция, используемая для производства, изготовления вещей или преобразования в другие материальные субстанции, объекты.

Материалы — различные вещественные элементы, используемые в качестве предметов труда для изготовления продукции. Материаллы подразделяются на основные (образующие материально-вещественную основу готовой продукции) и вспомогательные (используемые при производстве.

Материалы — предметы труда: сырье, основные и вспомогательные материалы, топливо, энергия, покупные изделия и полуфабрикаты, запасные части для ремонта, инструменты и т.п.

Пьезоэлектрические материалы — кристаллические вещества с хорошо выраженными пьезоэлектрическими свойствами, применяемые для изготовления электромеханических преобразователей: пьезоэлектрических резонаторов, пьезоэлектрических датчиков.

Отделочные материалы — в строительстве, материалы и изделия, применяемые для повышения эксплуатационных и декоративных качеств зданий и сооружений, а также для защиты строительных конструкций от атмосферных и др. воздействий.

Панхроматические материалы — черно-белые светочувствительные фотографические материалы, сенсибилизированные (обладающие добавочной Светочувствительностью) к зелёным, жёлтым и красным лучам (длина волны 500 700 нм), в отличие от ортохроматических материалов,…

Переплётные материалы — материалы для переплёта книжного. С развитием книгопечатания в качестве П. м. последовательно использовали кожу, пергамент, ткань, бумагу. Современные переплётные материалы состоят из основы (бумага, нетканый материал, ткань),…

Металлические и неметаллические материалы, способные противостоять разрушительному действию агрессивных сред; применяются для изготовления аппаратов, трубопроводов, арматуры и др. изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия кислот, щелочей, солей, агрессивных газов и др. агентов. Под стойкостью материала понимают его способность сопротивляться коррозии в конкретной среде или в группе сред. Материал, стойкий в одной среде, может интенсивно разрушаться в другой. Способность материалов сопротивляться окислению при высоких температурах в газообразных средах (воздух, О2, СО2 и т. д.) называется жаростойкостью. К жаростойким материалам относятся сплавы железа с хромом (нержавеющие стали), сплавы титана, циркония, молибдена, тантала. Основной метод повышения жаростойкости сплавов на основе железа - легирование их элементами, способными создать на поверхности металла защитную окисную плёнку, препятствующую дальнейшему окислению. Такими элементами, кроме хрома, являются кремний, алюминий. В тех случаях, когда наряду с жаростойкостью требуется высокая прочность, применяют сплавы на никелевой основе, типа нимоников, инконелей.

Стойки к окислению в газообразных и многих жидких средах благородные металлы: платина, золото. В кислых окислительных средах, например в азотной кислоте, коррозионностойки хромоникелевые и хромистые нержавеющие стали. Наиболее широко применяется хромоникелевая аустенитная нержавеющая сталь 1X18H10T, содержащая 0,1% С, 18-20% Cr, 9-11% Ni и 0,35-0,8% Ti. Титан или заменяющий его ниобий вводятся для устранения специфического вида разрушения - межкристаллитной коррозии. При указанном содержании никеля сталь имеет аустенитную структуру, обеспечивающую высокую пластичность и способность к технологическим обработкам, в частности к сварке. Однако никель - дорогой и дефицитный легирующий элемент. Поэтому в ряде аустенитных нержавеющих сталей он частично или полностью заменен на марганец. Нержавеющая сталь, содержащая лишь хром, труднее поддаётся технологической обработке, но более прочна. Для изделий, в которых требуется сочетание высокой коррозионной стойкости и прочности, применяют хромистые стали мартенситного класса, содержащие 0,2-0,4% С и 12-14% Cr. Стали с 25%-ным содержанием Cr обладают высокой стойкостью, но непрочны и плохо поддаются технологической обработке.

В концентрированных азотной и серной кислотах стойки железо и низколегированные (содержащие менее 2-3% легирующих элементов) стали. Стойкость сталей в этих условиях определяется их способностью к пассивированию в результате образования на их поверхности тонких, но очень плотных окисных плёнок (см. Пассивирование металлов). Легирование стали хромом увеличивает эту способность. В горячих растворах серной кислоты стойки стали, легированные 25% Cr, 25% Ni, 2-3% Cu, сплавы титана, свинец. В средах, содержащих хлориды, аустенитные нержавеющие стали, а также сплавы алюминия подвергаются язвенной коррозии и особому виду разрушения - коррозии под напряжением (см. Коррозия металлов). Для борьбы с коррозией под напряжением (коррозионным растрескиванием) повышают содержание Ni в сталях до 40% или вводят в них до 1,5% Cu. В хлоридсодержащих средах, в том числе в растворах соляной кислоты, стойки сплавы титана и сплав на никелевой основе, включающий в качестве компонента молибден, - хасталлой.

В природных водах (пресной и морской) при температурах до 100 °С стойки медь и её сплавы (бронза, латунь), а также алюминий и сплавы алюминия.

Среди неметаллических неорганического происхождения можно отметить графит, алюмосиликаты, чистый кремнезём. Кварцевое стекло, в частности, стойко во многих средах и широко применяется для изготовления химической посуды. Для футеровки металлических корпусов аппаратов в производстве минеральных кислот широко применяют различные природные материалы (горные породы андезит, базальт и др.). Стоек во многих водных средах и ряд органических материалов: фторопласты (тефлон), полиэтилен, полистирол и т. д. Однако все они применимы при температурах не свыше 100-200 °С.

Коррозионную стойкость материалов можно повысить, если нанести на них защитные покрытия. Для защиты от атмосферной коррозии широко применяют цинкование, анодирование, алитирование (покрытие алюминием), никелирование, хромирование, эмалирование, а также нанесение органических материалов - лакокрасочных покрытий. Для замедления разрушения материалов в агрессивных средах широко используют ингибиторы коррозии (см. Ингибиторы химические).

## 2.2 Новые коррозионностойкие материалы

Нержавеющие стали, обладающие повышенной стойкостью против питтинговой коррозии, повышенная стойкость обеспечивается регулированием состава сталей по легирующим (Cr, Si, Ni, Mo) и примесным (S, Mn, O, Al) элементам;

при пониженном содержании Mo (<1%) и Ni (10-11%) не уступают по коррозионной стойкости сталям типа Х17Н13М3Т, Х17Н14М3 и др;

перспективны для использования на предприятиях химической, нефтехимической, и др. отраслей промышленности, агрохимического комплекса, а также при производстве коррозионностойкой биметаллической продукции.

Нержавеющие стали, обладающие повышенной стойкостью против межкристаллитной коррозии повышенная коррозионная стойкость обеспечивается регулированием примесного состава (S,P, Si) сталей и их дополнительным модифицированием, в частности, бором;

перспективны для использования в сильноокислительных средах, например, на предприятиях по производству минеральных удобрений и искусственных волокон.

Углеродистые коррозионностойкие стали с регулируемым структурно-фазовым составом повышенная коррозионная стойкость обеспечивается созданием ферритно-перлитной структуры, обладающей повышенными механическими и коррозионными характеристиками;

требуемые характеристики достигаются проведением специальных термических обработок;

перспективны для строительства трубопроводов различных назначений, например, нефтегазопроводов, теплотрасс и др.

Латуни с регулируемым структурно-фазовым составом обладают повышенной стойкостью против структурно-избирательного рстворения;

перспективны для кораблестроения и строительства морских сооружений, а также для гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в высокоминерализованных средах.

Карбидизированные стали

повышенные стойкость против коррозии и износостойкость обеспечиваются созданием поверхностно легированного слоя;

разработаны различные способы термодиффузионного хромирования, позволяющие получать поверхностные слои с заданными свойствами;

перспективны для использования в неокислительных высокоагрессвных средах, в том числе, в условиях воздействия абразива;

используются на предприятиях по производству минеральных удобрений России и Украины;

перспективны для использования в качестве коррозионно- и износостойких металлических материалов.

Хромированная лакированная жесть представляет собою жесть из углеродистой стали с нанесенным на её поверхность тонким (примерно 0,05 мкм) слоем хрома (или сплава Fe-Cr), дополнительно покрытым обычным или пищевым лаком;

предназначена для использования в качестве коррозионностойкого тароупаковочного материала для консервной, пищевой и химической промышленности;

способ получения - электрохимический, отличающийся экологической чистотой благодаря использованию безвредных электролитов на основе Cr(III) взамен токсичного раствора Cr(VI).

## 2.3 Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали

В зависимости от химического состава коррозионно-стойкие стали делятся на хромистые и хромоникелевые

Хромистые стали

Стали мартенситного класса марок 20X13, 30X13 и 40X13 содержат в среднем около 13% хрома. Это минимальное количество хрома, делающее сталь нержавеющей.

Указанные стали устойчивы против коррозии в атмосфере, слабых растворах органических кислот и солей и других агрессивных средах.

Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости стали подвергаются упрочняющей термической обработке. Коррозионная стойкость сталей повышается также после шлифования и полирования.

Чем больше в хромистых сталях углерода, тем больше выделяется карбидов хрома и тем сильнее снижается коррозионная стойкость. С повышением содержания углерода возрастает также хрупкость сталей. С понижением содержания углерода хромистые стали по структурному признаку переходят из мартенситного класса в мартенситно-ферритный (сталь марки 12X13) и даже чисто ферритный (сталь марки 08Х13) классы. Стали марок 08Х13, 12X13 и 20Х13 являются не только коррозионно-стойкими, но и жаропрочными. Они могут использоваться при температурах 500-650 °С в нагруженном состоянии. Недостатком хромистых сталей с 13% хрома является низкая стойкость против коррозионного растрескивания и точечной коррозии в средах, содержащих ионы хлора.

Хромоникелевые стали

Стали марок 20X17Н2 (мартенситного класса) и 14Х17Н2 (мартенситно-ферритного класса) имеют более высокие механические свойства и коррозионную стойкость, чем рассмотренные хромистые стали. Сталь марки 20X17Н2 хорошо штампуется, удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается всеми видами сварки. Удовлетворительные технологические свойства имеет и сталь марки 14X17Н2. Она устойчива по отношению к азотной кислоте, многим органическим кислотам. Сталь не только коррозионно-стойкая, но и жаропрочная и может применяться при температуре до 400 °С.

Низкоуглеродистые ферритные стали

Эти стали имеют высокую коррозионную стойкость, содержат 17-28% хрома (марки 12X17, 08X17Т, 15Х25Т и др.). Они применяются для изготовления изделий, работающих в окислительных средах (азотной кислоте), в водных растворах аммиака, в аммиачной селитре и других агрессивных средах. Стали применяются в отожжённом состоянии или без термообработки.

Недостатками высокохромистых сталей ферритного класса являются: склонность к росту зерна при нагреве, склонность к охрупчиванию в интервале температур 400-500 °С, трудности в обеспечении свариваемости, склонность к межкристаллитной коррозии, невысокие прочностные свойства.

Для предотвращения межкристаллитной коррозии необходимо уменьшить в стали содержание углерода или ввести в её состав карбидообразующие элементы - титан (в количестве не менее пятикратного по отношению к содержанию углерода) или ниобий (в десятикратном отношении). Таким образом, стали марок 12X17 и 15X28 (без титана) для изготовления сварных конструкций не рекомендуются. И, наоборот, стали марок 08X17Т и 15Х25Т могут использоваться для изготовления сварных конструкций.

Высокохромистые стали ферритного класса марок 08X17Т, 12X17, 15Х25Т и 15X28 используются также в качестве жаростойкого материала, причём у сталей марок 08X17Т, 15Х25Т и 15X28 жаростойкость имеет преимущество по сравнению с коррозионной стойкостью.

Коррозионно-стойкая подшипниковая сталь марки 95X18 мартенситного класса применяется для изготовления подшипников для нефтяного оборудования, подшипников, работающих в морской воде, растворах кислот и других агрессивных средах.

Хромоникелевые стали аустенитно-мартенситного (переходного) класса

Эти стали широко применяются в качестве конструкционного материала в различных областях техники. Химическая стойкость сочетается у них с высокой прочностью, хорошей свариваемостью и достаточной пластичностью.

Высокие механические свойства стали данного класса получают после комплексной термической обработки, состоящей из закалки или нормализации от 975-1130 °С, обработки холодом при -70 °С или высокого отпуска для дестабилизации аустенита при 740-760 °С и старения при 350-500 °С с последующим охлаждением на воздухе.

После закалки стали аустенитно-мартенситного класса имеют структуру аустенита. Они мягкие, обладают высокой пластичностью и хорошо деформируются. При последующей обработке холодом часть аустенита превращается в мартенсит, что повышает прочность стали. Дальнейшее повышение прочности происходит при старении за счёт выделения промежуточных фаз из мартенсита. Однако старение уменьшает пластичность стали. Оптимальное сочетание прочности и пластичности обеспечивается легированием стали молибденом и алюминием.

Нередко после закалки обработку холодом заменяют холодной пластической деформацией.

Хромоникелевые и хромомарганцевоникелевые стали аустенитно-ферритного и аустенитного классов

Стали этих классов широко применяются в химической, нефтяной и пищевой промышленности, в самолёто-и судостроении, в строительстве и в быту. Это объясняется высокими механическими свойствами, немагнитностью, хорошей свариваемостью, высокой прочностью и пластичностью в сварных соединениях.

Стали аустенитно-ферритного класса после оптимальной термической обработки (закалки в воде или воздухе с 950-1050 °С) имеют структуру, состоящую из равномерно чередующихся зерен феррита и аустенита (с соотношением фаз примерно 1:1).

У сталей данного класса имеется ряд преимуществ по сравнению с однофазными аустенитными сталями: более высокая прочность при достаточной пластичности и вязкости, отсутствие склонности к росту зерна при сохранении двухфазной структуры, меньшая склонность к межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию, меньшее содержание дефицитного никеля.

Существенный недостаток сталей аустенитно-ферритного класса — рост хрупкости при 400-600 °С, поэтому их предельная рабочая температура составляет 350 °С.

Хромоникелевые стали аустенитного класса нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения в качестве коррозионно-стойкого и жаростойкого конструкционного материала.

Эти стали после закалки в воде, масле или на воздухе с 1000-1100 °С имеют однородную структуру аустенита. При этом достигается наиболее высокая коррозионная стойкость в окислительных средах в сочетании с хорошей пластичностью при умеренной прочности.

Наибольшее распространение в технике получили стали марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т, имеющие высокую коррозионную стойкость в большом диапазоне агрессивных сред и отличающиеся хорошей технологичностью (свариваемостью, штампуемостью).

Сталь марки 12Х18Н9 склонна к межкристаллитной коррозии, поэтому после закалки её нельзя нагревать выше 400 °С, т.е. практически нельзя сваривать различными методами сварки, за исключением точечной.

Стали с низким содержанием углерода (марки 03X18Н11 и др.) менее склонны к межкристаллитной коррозии, они имеют повышенную коррозионную стойкость в азотной кислоте высоких концентраций и в других агрессивных средах, хорошую свариваемость, пластичность, высокую способность к полированию.

Для уменьшения склонности хромоникелевых аустенитных сталей к межкристаллитной коррозии в состав стали вводят также титан и реже ниобий (марки 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н12Б и др.). Эти стали можно успешно использовать для сварных конструкций, работающих в агрессивных средах.

Положительное влияние на увеличение коррозионной стойкости сталей в ряде сред (органические кислоты, морская вода и др.) оказывают добавки молибдена (2-4%). Однако стали, содержащие молибден (марки 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т и др.), обладают склонностью к охрупчиванию в результате нагрева при 600-750 °С и имеют более низкую коррозионную стойкость в условиях действия азотной кислоты повышенных концентраций, чем хромоникелевые стали.

Хромомарганцевоникелевые аустенитные стали

Для экономии остродефицитного никеля взамен хромоникелевых аустенитных сталей выпускаются хромомарганцевоникелевые стали, где часть никеля заменяется марганцем.

Хотя коррозионная стойкость хромомарганцевоникелевых сталей несколько ниже, чем сталей, содержащих 18% хрома и 10% никеля, они широко применяются в промышленности для изготовления бытовых приборов, пищевого оборудования, установок для сжиженных газов и т.д. Хромомарганцевоникелевые стали марок 10Х14Г14Н4Т и 07Х21Г7АН5 применяют в качестве криогенного материала при температурах -196 °С, -253 °С. Коррозионно-стойкие (кислотостойкие) сплавы на железоникелевой и никелевой основе при изготовлении химической аппаратуры, работающей в агрессивных кислотных средах (в серной, соляной, азотной, фосфорной кислотах и их смесях различной концентрации) при различных температурах необходимо применять материалы с более высокой коррозионной стойкостью, чем нержавеющие стали. Для этих целей используют кислотостойкие сплавы на железоникелевой и никелевой основах.

Сплавы на железоникелевой основе применяются для изготовления сварных конструкций в целлюлозно-бумажной промышленности, производстве минеральных удобрений и в других отраслях техники при работе в серной кислоте различных концентраций и других агрессивных средах. Сплавы на никелевой основе, содержащие большое количество молибдена, применяют в особо агрессивных средах (в соляной, серной, фосфорной, концентрированной уксусной и других кислотах) при повышенных температурах.

2.4 Металлокерамические материалы

Металлокерамические материалы получаются прессованием деталей из соответствующих смесей порошков в стальных прессформах под давлением 1000 — 6000 кг/см2 с последующим спеканием спрессованных полуфабрикатов при температуре ниже точки плавления основного компонента сплава.

Указанным методом получаются пористые изделия.

Размеры прессованных заготовок после спекания несколько изменяются.

Виды:

1. контактные материалы (вольфрам — медь, вольфрам — серебро, молибден — серебро, серебро—графит, серебро — окись кадмия и др.

2. магнитные материалы (железо - пластические композиции для сердечников пупиновских катушек, карбонильное железо высокой чистоты, постоянные магниты высокой подъёмной силы из сплавов железа с алюминием, никелем, кобальтом и т.

3. другие металлокерамические материалы (прутки и проволока из медных порошков, компактные материалы из порошков карбонильного железа, сварочные электроды, металлокерамические припои и др.).

4. твёрдые сплавы

Металлокерамические антифрикционные материалы разделяются на три группы: а) пористые подшипники, б) компактные металлокерамические антифрикционные материалы, в) антифрикционные материалы с неметаллическими составляющими.

Химический состав пористых металлокерамических антифрикционных материалов выбирается в зависимости от условий работы подшипника и технологического процесса.

Область применения пористых подшипников.

Пористые подшипники могут применяться взамен бронзовых подшипников скольжения и шарикоподшипников для работы при pv до 70 кгм1слРсс.

Подъёмно-транспортное машиностроение. Эскалаторы метрополитена, ролики угольных транспортёров, катки мостовых кранов и др.

Прочие отрасли промышленности. Вспомогательные устройства двигателя дизеля, киноаппаратура, звуковые протекторы, патефоны, вентиляторы, сепараторы для шарикоподшипников и др.

Компактные (непористые) металлокерамические антифрикционные материалы.

Применяемые в Англии и США непористые антифрикционные металлокерамические материалы можно разбить на три группы:

а) материалы, изготовляемые из дроблёной и декарбюризованной стальной стружки прессованием, спеканием и последующей горячей штамповкой;

б) металлокерамические материалы из свинцовистой бронзы, применяемые в виде втулок, биметаллических вкладышей и ленты (металлокерамический слой на стальной основе);

в) трёхслойный материал, состоящий из стальной ленты, на которую напрессовываются порошки меди и никеля.

Толщина металлокерамического слоя — около 0,5 мм.

После спекания поры этого слоя заполняются расплавленным свинцовистым баббитом (под вакуумом), который образует также поверхностный слой (толщиной 0,02 — 0,075 мм).

Металлокерамические фрикционные материалы

Основными компонентами металлокерамических фрикционных материалов являются медь, олово, свинец и графит.

Ряд сплавов содержит также железо, кремний и цинк.

Вследствие невысокого сопротивления разрыву и срезу металлокерамические фрикционные материалы наносятся на стальную основу (диск или ленту) тонким слоем толщиной от 0,25 до 8—10 мм и иногда до 6 мм.

Металлокерамические фрикционные материалы обладают высокими эксплуатационными свойствами, износоустойчивостью и коррозионной стойкостью.

Они могут работать при высоких температурах (в некоторых случаях нагрев при торможении доходит до 540° С) и высоких давлениях (до 70 кг/см2).

Применяются в качестве фрикционных прокладок для тормозных дисков, лент и колодок на самолётах и танках.

## 2.5 Конструкционные (коррозионностойкие) электротехнические сплавы

Большая часть полуфабрикатного никеля (НПО—НПЗ) и конструкционных сплавов на его основе производится в виде листов, лент, прутков, проволоки, трубок. По технологическим характеристикам при обработке давлением и термической обработке они весьма сходны с аналогичными полуфабрикатами из меди и однофазных сплавов на ее основе, поскольку оба этих металла имеют г. ц. к. решетку. Основной вид термической обработки этих полуфабрикатов — рекристаллизационный отжиг, причем, как и для сплавов на основе меди, он может быть промежуточным или окончательным. Как и для сплавов предыдущей группы, заданные механические свойства полуфабрикатов могут быть получены полным промежуточным отжигом и последующей неполной нагартовкой или достаточно сильной нагартовкой с последующим неполным отжигом. В зависимости от степени нагартовки различают твердый, полутвердый или мягкий материал (например, лента твердая, полутвердая, мягкая).

При выборе режимов рекристаллизационного отжига следует исходить ,из диаграмм рекристаллизации для данного сплава и избегать таких режимов деформации и последующего отжига, которые привели бы к резкому росту рекристаллизованного зерна, Для никеля марки НО критическая степень деформации составляет ~5%; зерно начинает наиболее интенсивно расти при температурах >1000 °С. Разупрочнение нагартован-ного никеля начинается при температурах отжига >300 °С, пластические характеристики резко возрастают после отжига при температурах >500 °С. Таким образом, температура начала рекристаллизации никеля НО составляет ~500 °С конца 700—800 °С.

Температуры рекристаллизации и отжига конструкционных (коррозионностойких) сплавов на основе никеля приведены в табл. 31. Для всех марок полуфабрикатного никеля эти температуры указаны одинаковыми, что вполне допустимо из-за сравнительно небольшого разброса и перекрытия этих температур, обусловленных обычно примесями. Для полуфабрикатного никеля рекомендуемая температура неполного отжига (для уменьшения остаточных напряжений) составляет 300 °С; для остальных марок сплавов она в справочнике А. П. Смирягина с соавторами не указана. Однако можно полагать, что и для других сплавов температура отжига для уменьшения остаточных напряжений будет близка к этой величине из-за близкой природы сплавов.

Термоэлектродные сплавы (хромель, алюмель, копель, константен и другие), а также сплавы высокой жаростойкости и электросопротивления (нихромы и ферронихромы) в процессе производства из них проволоки также подвергают лишь промежуточному отжигу для снятия нагартовки и возможности дальнейшего деформирования или окончательному отжигу для придания полуфабрикатам нужных механических или физико-химических свойств (например, заданного электросопротивления и жаростойкости).

Большинство описанных выше сплавов являются однофазными и представлены твердыми растворами. Некоторые из них, например нихромы Х40Н60 и Х50Н50, двухфазны и представлены у- и а-фазами с г. ц. к. и о. ц. к. решетками, но эта двухфазность не используется для упрочняющей термической обработки.

Для получения светлой неокисленной поверхности целесообразно проводить отжиг никелевых сплавов всех типов в защитных атмосферах. Если никель и его сплавы достаточно чисты по кислороду и не содержат закиси никеля Ni20, то лучшей защитной атмосферой служит очищенный водород. Единственный ее недостаток —взрывоопасность, но практический опыт работы на печах с водородной атмосферой показывает, что при соблюдении правил техники безопасности неприятных последствий не бывает.

Если же никель и его сплавы содержат закись никеля Ni20 (обычно по границам зерен), то развивается водородная болезнь никеля из-за диффузии водорода в никель и реакции Ni20 + 2H = 2Ni + H20: Поскольку молекулы воды неспособны к обратной диффузии через металл, на границах зерен образуются несплошности, заполненные парами воды высокого давления, что облегчает зарождение и развитие микротрещин, приводящих к разрушению металла, иногда даже и без приложения внешних нагрузок.

Светлый отжиг никеля и его сплавов можно также производить в атмосфере диссоциированного и не полностью сожженного аммиака, содержащего >5% водорода, а также в других газовых средах, в которых сумма парциальных давлений газов-окислителей меньше или равна упругости кислорода диссоциирующего оксида.

Жаропрочные никелевые сплавы подвергают следующим видам термической обработки: отжигу, закалке и старению и неполному отжигу для уменьшения остаточных напряжений.

Основное назначение отжига — это снятие нагартовки после деформации, так что он проводится между последовательными стадиями обработки давлением для смягчения материала и продолжения дальнейших технологических операций. Лишь в редких случаях для листов из малолегированных жаропрочных никелевых сплавов — типа ЭИ437 рекристаллизационный отжиг служит окончательной термической обработкой, формирующей механические и технологические свойства полуфабрикатов. Лиеты из сплавов типа ЭИ437 отжигают при 1150 °С в течение 2—3 мин с быстрым охлаждением на воздухе или в воде. При более высоких температурах происходит интенсивный рост зерна (рис. 117).

Ускоренное охлаждение этих сплавов после рекристаллизационного отжига необходимо, поскольку они дисперсионно твердеют и при замедленном охлаждении может произойти распад пересыщенного твердого раствора с упрочнением отжигаемого материала и потерей им пластичности. Чем сильнее легированы сплавы типа нимоник, тем больше их склонность к распаду после рекристаллизационного отжига.

Как уже .отмечалось, основой выбора режимов рекристаллизационного отжига служат диаграммы рекристаллизации. Различают три типа диаграмм рекристаллизации. Диаграммы рекристаллизации первого типа отображают зависимость средней величины зерна от степени холодной деформации и температуры последующего рекристаллизационного отжига при определенной, одинаковой для всех температур отжига длительности выдержки. Диаграммы рекристаллизации второго рода показывают зависимость средней величины зерна от степени и температуры горячей деформации; никакого дополнительного рекристаллизационного отжига при этом не производится. Диаграмма рекристаллизации второго рода для сплава ЭИ437 (аналога сплава Нимоник 80) приведена на рис. 118. Здесь, как и на диаграммах рекристаллизации первого рода, четко проявляются критические степени деформации, при которых вырастает наибольшее рекристаллизованное зерно (в процессе горячей деформации и последующего охлаждения).

На диаграммах рекристаллизации третьего типа указываются два типа кривых. Один тип кривых отражает величину зерна непосредственно после горячей деформации при разных температурах, а второй — величину зерна после окончательной термической обработки. На рис. 119 приведена как пример диаграмма рекристаллизации третьего рода для сплава ХН70ВМТЮ (ЭИ617). Нижние кривые дают величину зерна после горячей осадки на прессе, а верхние — после закалки с 1200 °С и старения при 1050 °С в течение 4 ч.

Структура сплавов после горячей деформации и даже рекристаллизации довольно часто бывает разнозернистой.

# 3. Методы защиты металлов используемых в энергетике от коррозии, их эффективность

Существуют многочисленные способы защиты металлов от коррозии. Выбор того или иного способа определяется конкретными условиями работы и хранения металлических изделий. Применяются следующие способы защиты: легирование сталей, нанесение металлических покрытий, электрохимическая защита.

Легирование наиболее надежно защищает металл от коррозии, причем наиболее эффективно в условиях воздействия механических напряжений и коррозийной среды. Легирование позволяет предотвратить и коррозийное растрескивание изделий.

Так, например, к группе сталей с особыми химическими свойствами относят коррозионно-стойкие стали. Их получают путем введения в углеродистые и низколегированные стали значительных добавок хрома или хрома и никеля. При содержании хрома 13, 17 и 25% хромистые стали являются не только коррозионно-, но и жаростойкими. Хромоникелевые стали обладают большей коррозионной стойкостью, чем хромистые, и находят широкое применение в химической промышленности.

Механизм защиты сталей от коррозии их легированием различен и связан либо с повышением коррозионной стойкости всего объема металла, либо с образованием на поверхности изделия защитных пленок.

Металлические покрытия наносят на поверхность изделия тонким слоем металла, обладающего достаточной стойкостью в данной среде. Металлические покрытия придают также поверхностным слоям металлоизделий требуемую твердость, износостойкость. Различают два типа металлических покрытий - анодное и катодное. Для железоуглеродистых сплавов таким анодным покрытием может служить покрытие из цинка и кадмия. В воде и во влажном воздухе цинк покрывается слоем основной углекислой соли белого цвета, защищающим его от дальнейшего разрушения. Широкое применение получили цинковые покрытия для защиты арматуры, труб и резервуаров от действия воды и горячих жидкостей.

Металлические покрытия наносят различными способами. Наиболее часто применяется горячий метод, гальванизация и металлизация.

При горячем методе изделие погружают в расплавленный металл, который смачивает его поверхность и покрывает тонким слоем. Затем изделие вынимают из ванны и охлаждают. Таким методом изделие покрывают слоем олова или цинка. Лужение применяют при изготовлении белой жести, при устройстве покрытий на внутренних поверхностях пищевых котлов и других изделий. Цинкованием предохраняют от коррозии, например, кровельное железо, водопроводные трубы.

При гальваническом способе металлические изделия помещают в гальваническую ванну. Под действием электрического тока на поверхности изделия происходит катодное осаждение пленки защитного металла. Толщину гальванического покрытия можно регулировать в широких пределах. Покрытия получают также распылением расплавленного металла с помощью специальных металлизационных пистолетов и напылением на его поверхность защищаемого металла. Этот вид защиты используют для крупногабаритных конструкций: ж./д мостов и т. д. В качестве защитного металла используют алюминий, цинк, хром, коррозионно-стойкие стали.

Неметаллические покрытия выполняются из лаков, красок, эмалей и др. веществ и изолируют изделие от воздействия внешней среды. Эти покрытия имеют преимущество перед металлическими. Они легко наносятся на изделие, хорошо закрывают поры, не изменяют свойств металла и являются относительно дешевыми. При хранении и перевозке изделий металлические изделия покрывают специальными смазочными материалами, минеральными маслами и жирами. Для защиты изделий, работающих в высокоагрессивных средах, применяют пластмассовые покрытия из винипласта, поливинилхлорида.

Химические покрытия- защитные оксидные иные пленки- создаются при воздействии на металл сильных химических реагентов. Широко применяются также оксидирование и фосфатирование металлоизделий.

Оксидирование заключается в создании на поверхности изделия оксидной пленки, обладающей большой коррозийной стойкостью. Наиболее широко применяют оксидирование для защиты от коррозии изделий из алюминия и его сплавов.

Фосфатирование стальных изделий заключается в создании поверхностного слоя из фосфатов марганца и железа. Фосфатные покрытия используются в дальнейшем в качестве подслоя. Фосфатные покрытия часто применяются в сочетании со смазочными материалами для уменьшения трения при обработке металлов давлением, волочением, для хорошей приработке трущихся деталей машин.

В отдельных случаях прибегают к защите металлов от коррозии при помощи протекторов. Сущность протекторной защиты заключается в том, что к поверхности защищаемого изделия прикрепляют протекторы- куски металла. Образуется гальваническая пара , в которой анод- протектор, катод- изделие. В результате протектор разрушается, защищая изделие. Таким образом защищают, например, подводные металлические части кораблей, прикрепляя к ним пластины цинка.

# Задача

При химической очистке одежды 2 г эмульгатора разбавляется 1 л воды, и получается эмульсия, которая используется для чистки особо загрязненных тканей из расчета, что масса одежды должна составлять 5 % от массы эмульсии. Состав эмульгатора КМ-31 следующий: катамин АБ – 30 %, моноалкиламид – 10 %, тетрахлорэтилен – 60 %. Сколько эмульгатора и каждого из компонентов требуется для чистки 200 кг одежды.

Решение.

Масса эмульсии при растворении эмульгатора в воде составляет 1002 г.

На 200 кг одежды нужно эмульгатора = 998 кг

Тогда каждого компонента необходимо следующее количество:

катамина АБ – 998\*0,30 = 299,4 кг,

моноалкиламида – 998\*0,10 = 99,8 кг,

тетрахлорэтилена – 998\*0,60 = 598,8 кг.

# Выводы

Коррозионностойкие материалы, металлические и неметаллические материалы, способные противостоять разрушительному действию агрессивных сред; применяются для изготовления аппаратов, трубопроводов, арматуры и др. изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия кислот, щелочей, солей, агрессивных газов и др. агентов. Под стойкостью материала понимают его способность сопротивляться коррозии в конкретной среде или в группе сред. Материал, стойкий в одной среде, может интенсивно разрушаться в другой. Многочисленные исследования, проведенные в области радиационной хладноломкости, также в основном, касаются перлитных корпусных сталей. Развитие ядерной энергетики требует не только разработки мер по повышению срока службы сталей перлитного класса, но и рассмотрения возможности применения в качестве материалов корпусов водо-водяных энергетических реакторов коррозионно-стойких конструкционных материалов, устраняющих необходимость нанесения на внутреннюю поверхность корпусов реакторов антикоррозионной наплавки аустенитными сталями и сплавами. Перспектива применения мартенситно-стареющих коррозионно-стойких сталей в качестве корпусных материалов требует убедительных экспериментальных данных по радиационной хладноломкости этих материалов после облучения высокими повреждающими дозами, а также изучения процессов длительного теплового старения, стимулируемого радиацией, и их влияния на степень развития охрупчивания и сдвиг температуры хрупко-вязкого перехода в область положительных температур. Существуют многочисленные способы защиты металлов от коррозии. Выбор того или иного способа определяется конкретными условиями работы и хранения металлических изделий. Применяются следующие способы защиты: легирование сталей, нанесение металлических покрытий, электрохимическая защита.

# Литература

1. Технология производства ЭВМ / А.П. Достанко, М.И. Пикуль, А.А. Хмыль: Учеб. – Мн. Выш. Школа, 2004 – 347с.
2. Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры. Учеб. пособие для ВУЗов / С.Е. Ушакова, В.С. Сергеев, А.В. Ключников, В.П. Привалов; Под ред. С.Е. Ушаковой. – М.: Радио и связь, 2002. – 256с.
3. Тявловский М.Д., Хмыль А.А., Станишевский В.К. Технология деталей и периферийных устройств ЭВА: Учеб. пособие для ВУЗов. Мн.: Выш. школа, 2001. – 256с.
4. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / А.М. Дольский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др.; Под ред.А.М. Дольского. – М.: Машиностроение, 2005. – 448с.
5. Зайцев И.В. Технология электроаппаратостроения: Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Высш. Школа, 2002. – 215с.
6. Основы технологии важнейших отраслей промышленности: В 2 ч. Ч.1: Учеб. пособие для вузов / И.В. Ченцов, И.А.
7. Ямпольский A.M., Травление металлов, М., 1980;
8. Анодные оксидные покрытия на металлах и анодная зашита, 2 изд., К., 1985;
9. Штанько В.М., Животовский Э.А., Электрохимическая обработка металлопродукции, М., 1986;
10. Грилихес С. Я., Электрохимическое и химическое полирование, Л., 1987;
11. Дураджи В.Н., Парсаданян А. С., Нагрев металлов в электролитной плазме, Киш., 1988;
12. Давыдов А.Д., Козак Е., Высокоскоростное электрохимическое формообразование, М., 1990.