

**Руководство
для подготовки инспекторов
по визуальному
и измерительному контролю
качества окрасочных работ**



РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНСПЕКТОРОВ ПО ВИЗУАЛЬНОМУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ

Руководство для подготовки инспекторов по визуальному и измерительному контролю качества окрасочных работ. Под ред. Козлова Д.Ю., Екатеринбург: Издательский дом «Оригами», 2009. – 202 с.

Руководство – это уникальное учебное печатное издание для специалистов-контроллеров. Данное издание является обновленным вариантом курса лекций для подготовки инспекторов по визуальному и измерительному контролю качества окрасочных работ Центрального научно-исследовательского института конструкционных материалов «Прометей», ведущего материаловедческого института страны. Центр «Прометей» успешно работает с 1997 года, подготовив за это время более 2000 квалифицированных специалистов в области контроля качества окрасочных работ.

Книга предназначена для повышения профессионального уровня работников антикоррозионной отрасли. Содержит наиболее полную информацию о коррозии и защите металлов, видах лакокрасочных материалов, подготовке и нанесению ЛКМ, методах контроля. В книге много ссылок на международные и отечественные стандарты.

Книга адресована инженерам и техникам, имеющим опыт работы в области нанесения лакокрасочных покрытий и контроля их качества, а также для специалистов малярных цехов, технологических отделов и отделов технического контроля промышленных предприятий; разработчиков и изготовителей лакокрасочных материалов; специалистов технологических отделов конструкторских бюро предприятий, эксплуатирующих различные объекты техники (суда, строительные сооружения, подземные и подводные коммуникации и т.п.). Данное пособие можно использовать и в процессе обучения специалистов на предприятии.

Обновленное издание дополнено новейшими данными, снабжено большим количеством схем, рисунков, фотографий и таблиц высокого качества, которые значительно упрощают освоение материала.

Главный редактор: Козлов Д.Ю.

Дизайн-макет, компьютерная верстка: Чухнин Е.М.

Редактор, корректор: Иванова И.А.

Рецензент: Пирогов В.Д.

Подписано в печать: 13.07.2009 г.

Формат А4 (210x297). Печать офсетная

Бумага офсетная №1.

Тираж 500 экземпляров.

Заказ №



Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

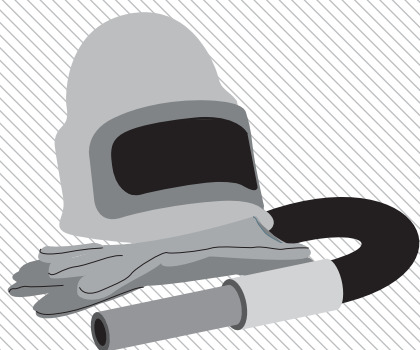
© ООО «ИД «Оригами», г. Екатеринбург, 2010 г.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ	4	РАЗДЕЛ 5. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	96
1.1. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОГО КУРСА	5	5.1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТАЛЛА.....	97
1.2. ОБЩИЕ ОБЯЗАННОСТИ ИНСПЕКТОРА ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ	7	5.2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ	101
1.3. АКТУАЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	10	5.3. СТАНДАРТЫ	104
РАЗДЕЛ 2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЕ МЕТАЛЛОВ	13	5.4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ	107
2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ	14	5.5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ	126
2.2. ХАРАКТЕРНЫЕ ВИДЫ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА	17	РАЗДЕЛ 6. НАНЕСЕНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	152
2.3. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	19	6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	153
2.4. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	23	6.2. СТАНДАРТЫ	154
2.5. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ	29	6.3. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА КАЧЕСТВО ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ	155
2.6. МЕХАНИЗМ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ	57	6.4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	158
РАЗДЕЛ 3. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	61	6.5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ	173
3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	62	6.6. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ПОКРЫТИЯ И РАСХОДА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	188
3.2. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	64	РАЗДЕЛ 7. ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	192
3.3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЛЕНКООБРАЗОВАНИИ	66	7.1. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ	193
3.4. СОВМЕСТИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМАХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ	68	7.2. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	196
3.5. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	72	7.3. ОБЯЗАННОСТИ ИНСПЕКТОРА, СВЯЗАННЫЕ С БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРУДА И ОХРАНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	197
3.6. ПРОТИВООБРАСТАЮЩИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	77	ОСНОВНЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ	198
РАЗДЕЛ 4. ПОДГОТОВКА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПЕРЕД ИХ НАНЕСЕНИЕМ	80	ТИПОВОЕ ОСНАЩЕНИЕ ИНСПЕКТОРА СРЕДСТВАМИ КОНТРОЛЯ	201
4.1. СТАНДАРТЫ	81	ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВИЗУАЛЬНОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ	204
4.2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	83	ЛИТЕРАТУРА, РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ	208
4.3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	84		

РАЗДЕЛ 1

ВВЕДЕНИЕ



РАЗДЕЛ 1 ВВЕДЕНИЕ

- 1.1 Организация и задачи учебного курса5
- 1.2. Общие обязанности инспектора по контролю и приемке лакокрасочных покрытий7
- 1.3. Актуальность и экономические аспекты проблемы коррозии и защиты металлических сооружений.....10



1.2. ОБЩИЕ ОБЯЗАННОСТИ ИНСПЕКТОРА ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ

Главная задача и обязанность инспектора - контроль за выполнением очистных и окрасочных работ и оценка соответствия качества работ требованиям соответствующих стандартов.

Инспектор является частью общей системы обеспечения качества продукции, основанной на соответствующих стандартах (например, ISO 9001-9003) и может действовать от лица поставщика лакокрасочных материалов, заказчика или строителя данного объекта.

Инспектор должен знать досконально:

- современные технологии, методы организации и выполнения очистных и окрасочных работ;
- области рационального применения, технические характеристики, правила наилучшего использования очистного и окрасочного оборудования, применяемой технологической оснастки;
- области рационального применения, свойства и методы нанесения используемых лакокрасочных материалов;
- требования всех стандартов, регламентирующих выполнение всех операций по подготовке поверхности и нанесению покрытий;
- методы проведения всех необходимых контрольных операций;
- современные приборы и приспособления для выполнения всех контрольных операций;
- требования национальных стандартов по технике безопасности и охране окружающей среды;
- теорию коррозии и защиты металла в объеме, необходимом для понимания и разъяснения принципов противокоррозионной защиты, и требований к выполнению очистных и окрасочных работ.

Общие обязанности инспектора включают в себя контроль выполнения следующих основных требований:

- 1) Контроль качества и приемка должны производиться по всем стадиям и операциям очистных и окрасочных работ от проверки используемых материалов и оборудования до окончательной приемки покрытия.
- 2) Все используемые материалы (краски, растворители, абразив и др.) должны иметь необходимую сопроводительную документацию, подтверждающую их качество, и храниться должным образом.
- 3) Технологическое оборудование и оснастка должны быть в работоспособном состоянии.
- 4) Приборы контроля должны быть поверены в установленном порядке и иметь соответствующее клеймо.
- 5) На все работы должны быть необходимые технологические документы (инструкции, методики и т.п.), соответствующие требованиям стандартов на эти работы.
- 6) Рабочие и обслуживающий персонал должны быть ознакомлены с документацией и требованиями к выполнению очистных и окрасочных работ и иметь соответствующую квалификацию.

- 7) Условия окружающей среды должны соответствовать требованиям, указанным в соответствующих стандартах и технологической документации на конкретные виды работ.
- 8) Все работы должны выполняться с точным соблюдением техники безопасности и охраны окружающей среды.
- 9) Все контрольные операции должны документироваться, по окончании окрасочных работ должен составляться отчет.
- 10) Инспектор должен разъяснять всем участникам работ свои функции и требования, добиваться полного взаимопонимания и хороших взаимоотношений.

Инспектор в принципе должен контролировать весь технологический процесс подготовки поверхности и нанесения покрытия, однако с точки зрения его личной ответственности за нарушения отдельных требований его функции следует разделить на три группы:

- 1) Нарушения, определяющие качество работ и, в конечном итоге, качество покрытия. Здесь инспектор действует самостоятельно, запрещая проведение работы или требуя ее исправления.
- 2) Нарушения, не влияющие на качество покрытия, но отражающиеся на безопасности или эффективности работ (нарушение правил безопасности, не экономное расходование материалов и т.п.). По таким вопросам инспектор должен докладывать руководству предприятия.
- 3) Вопросы, касающиеся неэффективных, неэкономичных способов, приемов, навыков выполнения работы операторами или способов организации этих работ. По таким вопросам инспектор должен дать соответствующие советы и рекомендации операторам и руководству окрасочного цеха.

Выполнение всех контрольных операций и результаты контроля в обязательном порядке оформляются документально на этих стадиях выполнения очистных и окрасочных работ.

Формы отчетной документации могут быть различными и устанавливаются организацией, от имени которой действует инспектор. Обычно используются четыре формы отчетной документации:

- рабочий журнал;
- акты контроля по отдельным этапам работы;
- уведомления о нарушениях требований к выполнению отдельных работ;
- сводный отчет о контроле качества выполнения очистных и окрасочных работ на объекте.

В рабочем журнале инспектор ежедневно отмечает все вопросы, по которым ему пришлось работать в течение дня, с указанием даты и времени.

Акты оформляются на все основные этапы работ с указанием результатов контроля и отметки о принятии инспектором конкретного объема работ. Акт подписывается инспектором и представителем организации – исполнителя очистных и окрасочных работ.

В случае каких-либо отклонений от требований стандартов или технологической документации, которые не были исправлены по замечаниям инспектора, оформляется уведомление о нарушении требований. Уведомление обсуждается представителями заинтересованных Сторон и принимается согласованное решение о способах исправления каж-

дого отклонения. На уведомлении делается пометка о том, что отклонение исправлено. В случае, если согласованного решения принять не удалось, инспектор указывает в сводном отчете о допущенных отклонениях в работе и причинах, по которым они не были исправлены.

В сводном отчете о контроле качества выполнения окрасочных работ на объекте приводится основная информация об организации работ и значениях всех основных параметров технологического процесса очистки и окраски. Делается заключение о полном или частичном соответствии качества работ требованиям стандартов и технической документации.

До начала работ по подготовке поверхности и окрашиванию объекта настоятельно рекомендуется организовать совещание всех заинтересованных сторон (владелец объекта, поставщик лакокрасочных материалов, исполнитель окрасочных работ, инспектор, может быть представители других организаций), на котором следует рассмотреть основные вопросы окрасочных работ с целью исключения всех спорных моментов, противоречий и нечеткостей технологической документации, необходимости и объема разрушающих методов контроля и т.п. По результатам совещания оформляется «Лист согласования окрасочных работ».

Ниже, в разделах, посвященных технологии очистных и окрасочных работ, будут детально рассмотрены обязанности инспектора на каждой операции технологического процесса, указаны стандарты, регламентирующие выполнение этих операций, рассмотрены их требования, указаны методы и приборное оснащение для осуществления контроля.

1.3. АКТУАЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В современном мире коррозия металлов и защита их от коррозии является одной из важнейших научно-технических и экономических проблем.

Технический прогресс во многих отраслях промышленности тормозится из-за нерешенности ряда коррозионных проблем. Это приобрело особую актуальность в промышленно развитых странах с большим металлофондом и особенно в последние годы в связи с все более широким использованием в промышленности высокопрочных материалов, особо агрессивных сред, высоких температур и давлений. В этих условиях значительно возрос удельный вес потерь, вызываемых такими опасными формами коррозии, как коррозионное растрескивание, межкристаллитная коррозия, питтинг и др.

Огромны экономические потери от коррозии металлов. Например, в США по последним данным NACE (доклад на 16-м Всемирном конгрессе по коррозии в Пекине в сентябре 2005 года) ущерб от коррозии и затраты на борьбу с ней составили 3,1 % от ВВП (276 млрд. долларов). В Германии этот ущерб составил 2,8 % от ВВП. По оценкам специалистов различных стран эти потери в промышленно развитых странах составляют от 2 до 4 % валового национального продукта. При этом потери металла, включающие массу вышедших из строя металлических конструкций, изделий, оборудования, составляют от 10 до 20 % годового производства стали.

Различают два вида потерь: прямые и косвенные. Прямые – безвозвратные потери металла, стоимость замены оборудования и металлоконструкций, расходы на противокоррозионную защиту. Косвенные – простой оборудования, снижение мощности, снижение качества продукции, расход металла на утолщения стенок и т.п.

И наоборот, разработка и практическое использование эффективных средств противокоррозионной защиты позволяет не только уменьшить потери металла и средств, но и снизить металлоемкость конструкций и сооружений, увеличить их грузоподъемность, уменьшить расход топливо–энергетических ресурсов при строительстве и эксплуатации, увеличить эксплуатационный период и в целом уменьшить себестоимость и повысить рентабельность объектов техники. В упомянутом выше докладе NACE отмечено, что потери от коррозии и затраты на противокоррозионную защиту в США в 2002 году составили 4,2 % от ВВП, т.е. за период 2002-2005 годы имела место положительная динамика.

Так, например, снижение скорости коррозии судовых корпусных конструкций путем использования эффективных средств защиты позволило применять в российском судостроении низколегированные стали повышенной прочности марок 09Г2, 10ХСНД и др. с пределом текучести 300-400 МПа взамен обычных углеродистых сталей с пределом текучести не более 240 МПа. Это позволило снизить строительные толщины корпусных конструкций и, соответственно, уменьшить их массу, сэкономить металл, снизить энерго– и трудозатраты при строительстве и эксплуатации судов. По нашим расчетам экономия стального проката от замены углеродистых сталей на низколегированные повышенной прочности составляет от 5 до 17 % в зависимости от марки сталей, назначения судна и применяемых

средств защиты. Снижение строительных толщин в этом случае может составлять 3–7 мм для днища и 2–5 мм для бортов.

Снижение скорости язвенной коррозии обшивки подводной части корпуса с 1–2 до 0,02–0,05 мм/год путем применения эффективных красок и электрохимической защиты позволило резко уменьшить объем работ по подварке сварных швов и практически исключить такой вид ремонтных работ как замена листов обшивки.

Можно привести много других примеров, когда правильное применение эффективных средств противокоррозионной защиты приводит к значительным техническим и экономическим успехам.

Поскольку основным средством противокоррозионной защиты судов являются лакокрасочные покрытия, то вполне понятно, насколько важны и актуальны вопросы применения эффективных лакокрасочных материалов и качественного их нанесения. Экономический анализ того или иного варианта нанесения покрытия строится на основе сопоставления затрат и эффективности (функциональных качеств, долговечности) полученного покрытия. Наиболее показательно сопоставлять затраты по стоимости окрашивания 1 м² поверхности. Окончательная стоимость покрытия – это сумма прямых, косвенных и непредвиденных расходов.

Прямые затраты включают:

- стоимость лакокрасочных материалов, растворителей, расходных материалов;
- стоимость разового оборудования, технологической оснастки;
- амортизационные отчисления на восстановление оборудования и основных производственных фондов;
- полные затраты на выполнение подготовительных, очистных и окрасочных работ;
- полные затраты на выполнение мероприятий по технике безопасности и охране окружающей среды;
- затраты на осуществление контроля всех операций технологического процесса;
- затраты на страхование.

Косвенные затраты включают:

- затраты на обеспечение условий для проведения очистных и окрасочных работ (вентиляция, сушка, отопление, освещение и т.п.);
- затраты на возведение лесов, подмостей, на транспортные работы и т.п.

Непредвиденные расходы возникают в результате:

- прерывания очистных и окрасочных работ из-за погодных условий;
- вынужденных простоев по различным технологическим обстоятельствам;
- необходимости повторного выполнения очистных и окрасочных работ вследствие низкого качества их первичного выполнения.

Эффективность покрытия оценивается как комплекс функциональных свойств (противокоррозионных, декоративных, противообрастающих, износостойких и пр.) на протяжении

срока службы покрытия. Таким образом, решающим фактором выбора того или иного варианта покрытия является его долговечность. При этом учитывается, что затраты на восстановление покрытия часто превышают затраты на его первичное нанесение, а качество восстановленных покрытий заведомо ниже первоначальных.

Для исключения споров и конфликтов между взаимодействующими организациями следует разделять понятия «долговечность» и «гарантийный срок службы». Стандарт ИСО 12944-1 определяет эти понятия следующим образом:

Долговечность – ожидаемый срок службы системы защитных покрытий до первого полного ремонтного восстановления. Это понятие технического характера, которое помогает владельцу обоснованно планировать техническое обслуживание окрашенного объекта.

Гарантийный срок службы – понятие юридического характера, имеющее законную силу и являющееся предметом контракта между заказчиком и исполнителем окрасочных работ. Это понятие определяет длительность эксплуатации окрашенного объекта, в течение которой исполнитель несет юридическую и финансовую ответственность за обеспечение защитных и/или декоративных качеств системы покрытия по конкретным параметрам, например, сохранность покрытия на определенной площади, сопротивления, цвета, блеска и т.п.

Из этого следует, что экономически целесообразно наносить долговечные покрытия, используя высококачественные лакокрасочные материалы, оборудование и современные методы подготовки поверхности и нанесения материалов, несмотря на то, что первоначальные затраты при этом увеличиваются. Относительные эксплуатационные расходы при этом будут меньше за счет менее частого перекрашивания, увеличения эксплуатационного времени и пр.

Следует также учитывать, что в общей стоимости окрашивания объекта и эксплуатационных расходов весьма большую роль играет качество краски и относительно небольшую роль – ее цена. Например, стоимость качественной окраски с предварительной дробеструйной обработкой составляет от 30 до 50 ам.долл. за 1 м², в том числе стоимость хорошей краски, расходуемой на 1 м² составляет в среднем около 4 ам.долл., т.е. около 10 % от стоимости окраски. Использование дешевой краски невысокого качества позволит снизить общие расходы на 4–6 %, но приведет к необходимости более раннего возобновления покрытия, что обойдется много дороже.

Если стоит задача получить высококачественное покрытие, то нецелесообразно экономить на подготовке поверхности под окраску, хотя качественная дробеструйная обработка стоит дорого – в среднем расходы составляют 60–70 % от общих расходов по нанесению покрытия, включая стоимость материалов.

Наконец, на чем никогда нельзя экономить – это на проведении строгого и тщательного пооперационного контроля всего процесса нанесения покрытия, начиная от контроля поступающих на предприятие материалов до приемки готового покрытия. Отсюда ясно, какое важное место в общем процессе получения лакокрасочного покрытия занимает инспектор и какие убытки может принести выполнение очистных и окрасочных работ без должного контроля.

РАЗДЕЛ 2

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЕ МЕТАЛЛОВ



2.1. Общие положения. Термодинамика процессов коррозии 14

2.2. Характерные виды коррозии металлов..... 17

2.3. Коррозионная стойкость металлов и сплавов 19

2.3.1. Углеродистые и низколегированные стали

2.3.2. Коррозионно-стойкие стали

2.3.3. Медь и медные сплавы

2.3.4. Алюминиевые сплавы

2.4. Коррозия металлоконструкций в различных условиях эксплуатации 23

2.4.1. Атмосферная коррозия

2.4.2. Коррозия в морской воде

2.4.3. Подземная коррозия

2.5. Основные методы и средства противокоррозионной защиты 29

2.5.1. Электрохимическая защита

2.5.1.1. Катодная защита с расходными анодами

2.5.1.1.2. Катодная защита наложенным током

2.5.2. Металлические и конверсионные покрытия

2.5.2.1. Цинковые покрытия

2.5.2.2. Кадмиевые покрытия

2.5.2.3. Алюминиевые покрытия

2.5.2.4. Конверсионные покрытия

2.5.3. Средства временной защиты

2.5.3.1. Ингибиторы коррозии

2.5.3.2. Мягкие пленки

2.5.3.3. Твердые пленки

2.5.4. Защита от электрокоррозии

2.5.4.1. Электрокоррозия под действием токов утечки

2.5.4.2. Электрокоррозия под действием блуждающих токов

2.5.4.3. Методы защиты от электрокоррозии

2.5.5. Рациональные методы конструирования

2.5.5.1. Общие правила устранения контактной коррозии

2.5.5.2. Общие устранения щелевой коррозии

2.5.5.3. Общие правила устранения застойных зон

2.5.5.4. Общие правила снижения разрушающего действия потока

коррозионной среды

2.5.5.5. Общие правила устранения коррозионно-механических разрушений

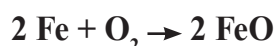
2.6. Механизм защитного действия и разрушения лакокрасочных покрытий 57



2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ

Коррозией металлов называется самопроизвольное их разрушение вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой.

Химическая коррозия – это процесс, при котором окисление металла и восстановление окислительного компонента среды протекают в одном акте. Типичный пример: окисление железа кислородом воздуха:



Наиболее распространенным и практически важным видом химической коррозии является газовая коррозия – коррозия металлов в газах при высоких температурах. В настоящем курсе лекций, в котором рассматриваются вопросы противокоррозионной защиты металлических сооружений в морской воде, морской атмосфере и других естественных средах, химическая коррозия рассматриваться не будет, как практически мало существенная в данных условиях.

Электрохимическая коррозия – это разрушение металлов вследствие их электрохимического взаимодействия с электролитически проводящей средой, при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента среды протекает не в одном акте и их скорости зависят от величины электродного потенциала металла. Этот вид коррозии наиболее распространен и является преобладающим для интересующих нас условий эксплуатации металлоконструкций. Первопричиной коррозии металлов является их термодинамическая неустойчивость в различных средах при данных внешних условиях. Термодинамика определяет возможность или невозможность самопроизвольного протекания коррозионного процесса при определенных условиях.

Скорость коррозионного процесса может быть представлена в общем виде с помощью уравнения:

$$\text{Скорость коррозии (СК)} = \frac{\text{Движущая сила процесса (ДСП)}}{\text{Торможение процесса (ТП)}}$$

ДСП может быть определена с помощью термодинамики. ТП не может быть определено термодинамически, однако с помощью термодинамики можно оценить условия, уменьшающие или исключающие протекание процесса (применение защитных сред, катодная защита, обескислороживание и др.).

Независимо от механизма коррозии возможность ее протекания определяется знаком изменения термодинамического потенциала. Процессы коррозии наиболее часто описывают изменением изобарно-изотермического потенциала – энергии Гиббса.

Любое изменение энергии системы характеризует переход ее в новое состояние и является мерой стабильности системы:

$$\Delta G = G_{II} - G_I,$$

где ΔG – энергия, израсходованная на изменение состояния системы, например, на процесс коррозии; G_I – энергия системы в исходном состоянии, например, металла в конкретных условиях; G_{II} – энергия системы в новом состоянии, например, прокорродировавшего металла.

Очевидно, что при $\Delta G = 0$ система находится в равновесии; при $\Delta G < 0$ процесс коррозии возможен при $\Delta G > 0$ процесс коррозии невозможен.

Процесс электрохимической коррозии включает в себя пять основных этапов. Например, для случая коррозии углеродистой стали в воде или влажном воздухе процесс протекает следующим образом:

1) ионизация атомов железа с образованием гидратированных ионов в воде и некомпенсированных электронов на анодных участках металла



2) переход электронов на катодные участки и их ассимиляция депполяризаторами (в нейтральных растворах кислородом) с образованием ионов гидроксила



3) образование в растворе гидрата закиси железа



4) доокисление до гидрата окиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и преобразование его в окончательный продукт коррозии $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

Суммарная реакция коррозии стали будет иметь вид:



Коррозия металла представляется как результат работы большого числа коррозионных гальванических элементов, возникающих на отдельных участках поверхности вследствие ее гетерогенности. Электрохимическая гетерогенность поверхности металла, обуславливающая ее дифференциацию на анодные и катодные участки, может быть вызвана различными причинами; макро- и микровключениями примесей, анизотропностью кристаллической решетки, наличием оксидных пленок и других загрязнений, неравномерностью приложения механических нагрузок, наличием пар дифференциальной аэрации и др.

Скорость и характер коррозионного процесса определяется в конечном итоге величиной стационарного потенциала металла ϕ , отвечающей установившейся скорости ионизации металла.

Усредненные значения стационарных потенциалов металлов в морской воде (по водородному электроду, В*) можно расположить в ряд:

Магний	-1,45	Олово	-0,20
Марганец	-0,96	Медь	-0,10
Цинк	-0,80	Титан	-0
Алюминий	-0,54	Ниобий	+0,10
Железо	-0,40	Никель	+0,10
Кадмий	-0,40	Серебро	+0,15
Свинец	-0,30	Платина	+0,80

Исходя из теории локальных элементов ток коррозии в общем виде может определяться по закону Ома:

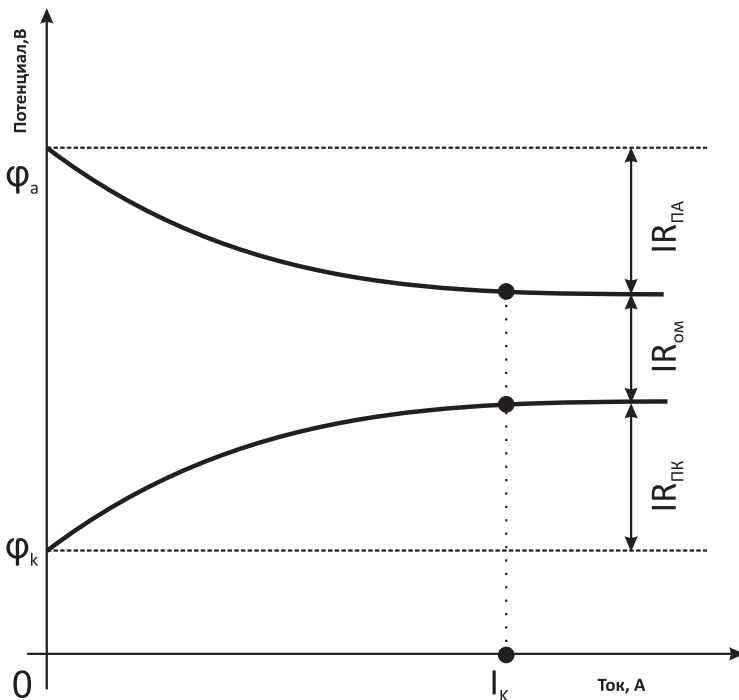
$$I_k = \frac{\phi_k - \phi_a}{R_{nk} + R_{na} + R_{om}}$$

где (ϕ_k, ϕ_a – потенциалы катодных и анодных участков):

R_{nk}, R_{na} – соответственно поляризационное сопротивление на катоде и аноде;

R_{om} – сопротивление электролита.

Определяющие скорость коррозии соотношения обычно наглядно представляются в виде коррозионных диаграмм (рис.2.1), где потенциалы анода и катода представляются в функции силы тока.



$$I_k = \frac{\phi_k - \phi_a}{R_{пк} + R_{па} + R_{ом}}$$

Рис. 2.1. Диаграмма для расчета тока коррозии.

Чаще всего скорость коррозионного процесса определяется следующими факторами:

- 1) медленностью диффузии реагентов к поверхности металла или продуктов реакции в обратном направлении (диффузионный контроль процесса);
- 2) медленностью реакции взаимодействия металла с коррозионной средой или ее компонентами, обусловленной энергией активации реакции (кинетический контроль);
- 3) медленностью обеих стадий при соизмерении их торможений (диффузионно-кинетический контроль).

* Здесь и далее величины потенциалов даны по водородному электроду. На практике обычно применяются хлорсеребряные электроды сравнения, имеющие собственный потенциал +240 мВ по отношению к нормальному водородному электроду, реже медно-сульфатные +310 мВ и цинковые – 800 мВ.

2.2. ХАРАКТЕРНЫЕ ВИДЫ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА

По природе разрушения различают следующие виды коррозии:

- химическую,
- электрохимическую,
- биохимическую – для случаев, когда коррозия металла в морской воде усиливается под действием обрастания поверхности морскими организмами,
- электрокоррозию – усиление коррозии под действием анодной поляризации, вызванной внешним электрическим полем (например, при производстве сварочных работ на плаву, при наличии блуждающих токов в акватории).

По характеру разрушения различают следующие виды коррозии (рис.2.2):

- сплошную – охватывающую всю поверхность металла;
- местную – охватывающую отдельные участки поверхности;
- равномерную, протекающую с приблизительно одинаковой скоростью по всей поверхности;
- точечную (питтинг) – в виде отдельных точек диаметром до 2 мм;
- язвенную – в виде язв диаметром от 2 до 50 мм;
- пятнами – в виде пятен диаметром более 50 мм и глубиной до 2 мм;
- расслаивающую – вызывающую расслоение металла и вспучивание слоев;
- подпленочную – протекающую под защитным покрытием металла;
- межкристаллитную – в виде избирательного разрушения границ зерен; селективную (избирательную) – в виде растворения отдельных компонентов сплава;
- щелевую – развивающуюся в щелях и узких зазорах,

По сочетанию с другими физическими воздействиями различают следующие виды коррозионных разрушений:

- коррозионно-кавитационные – при дополнительном воздействии кавитационного процесса (например, гребные винты, направляющие насадки и т.п.);
- эрозионно-коррозионные – при дополнительном истирающем воздействии потока воды совместно с твердыми частицами (песок, лед и пр.) или без них (например, корпуса ледоколов, внутренняя поверхность судовых труб и т.п.);
- коррозионное растрескивание – при воздействии растягивающих напряжений;



Рис. 2.2. Виды коррозионных разрушений.

- коррозионная усталость – при воздействии переменных механических напряжений;
- фреттинг-коррозия – при наличии механического воздействия в виде тесного контакта и перемещения относительно друг друга с высокой нагрузкой двух поверхностей (например, гребные валы под облицовками, баллеры рулей и т.п.);
- высокотемпературная коррозия – при воздействии коррозионной среды с высокой температурой (лопатки турбин, палубы авианесущих кораблей и т.п.);
- контактная коррозия – при сопряжении разнородных металлов в электролите, образующих гальваническую пару (стальной корпус в контакте с донно-заборной арматурой из цветного сплава, алюминиевая надстройка в контакте со стальным комингсом и т.п.).

Из приведенного, далеко не полного, перечня видно, насколько многообразны коррозионные разрушения и как тесно взаимосвязаны они с другими факторами среды, эксплуатационными условиями и конструктивными исполнениями металлоконструкций.

На практике проблема осложняется еще и тем, что одно сооружение и даже одно изделие может одновременно подвергаться: различным видам коррозии. Характерным примером может служить винторулевой комплекс судна, где наблюдаются:

- 1) контактная коррозия кормового подзора корпуса, кронштейнов и руля при наличии электрического контакта с гребным винтом из цветного сплава;
- 2) селективная коррозия гребного винта из цветных сплавов (обесцинкование латуни, обезалюминивание бронз);
- 3) коррозионно-эрозионные или коррозионно-кавитационные разрушения гребного винта, кронштейнов и пера руля;

- 4) фреттинг – коррозия гребного вала в месте контакта с облицовкой;
- 5) коррозионная усталость материала гребного винта в корневом сечении лопасти;
- 6) общая равномерная или неравномерная коррозия металлических поверхностей.

Очевидно, что квалифицированное решение задач противокоррозионной защиты реального объекта должно основываться на всестороннем учете всех влияющих обстоятельств: конструкции объекта, среды, окружающих условий, эксплуатационных факторов. Анализ этих обстоятельств позволит сначала определить возможные коррозионные повреждения, а затем правильно наметить конкретные методы и средства защиты.

2.3. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

2.3.1. Углеродистые и низколегированные стали (черные)

Сплавы на основе железа обладают рядом высоких механических свойств и сравнительно недороги в производстве, поэтому они получили наиболее широкое применение во всех отраслях промышленности. Производство углеродистых и низколегированных сталей составляет около 70% от выпуска всех вместе взятых металлических материалов.

Однако эти материалы обладают невысокой коррозионной стойкостью в большинстве природных и промышленных сред и требуют применения соответствующих мер по защите от коррозии.

Объясняется это тем, что на железе, углеродистых и низколегированных сталях анодный процесс протекает без существенного торможения и практически без возникновения пассивного состояния. Катодный процесс характеризуется малым торможением реакции восстановления кислорода и существенным торможением за счет ограниченной доставки кислорода в зону катодной реакции.

К тому же продукты коррозии железа также слабо тормозят коррозионный процесс вследствие непрочности сцепления с основным металлом и их частичной растворимости в воде.

Содержание в углеродистой стали таких компонентов как углерод, марганец, кремний, фосфор, медь не имеет существенного влияния на скорость коррозии. Примеси серы и азота выше допустимых концентраций могут ускорять коррозионный процесс.

В последние годы наблюдается тенденция к увеличению использования низколегированных сталей с небольшим (2-3% в совокупности) содержанием хрома, никеля, марганца, меди и кремния. Применение таких сталей позволяет существенно уменьшить металлоемкость конструкций и сооружений, трудоемкость, потребление энергии, улучшить технические характеристики объектов техники. Однако использование легирующих добавок в таких количествах практически не влияет на коррозионную стойкость сталей.

Большое влияние на скорость коррозии оказывает прокатная окалина. Она имеет высокую электропроводность, а ее стационарный потенциал в морской воде на 0,3-0,5 В более положителен, чем потенциал стали, причем эта разница наибольшая для сталей, легиру-

ванных хромом и медью. Поэтому обязательным является удаление окислы в процессе подготовки поверхности перед окрашиванием.

Наличие окислы, остатков краски, условия дифференциальной аэрации в потоке воды, механические нагрузки и пр. способствуют развитию язвенной коррозии, скорость которой может составлять от 0,4 до 1.0 мм/год.

Различие в коррозионном поведении различных марок сталей проявляется главным образом в сварных соединениях. Это определяется разностью электродных потенциалов трех элементов сварного соединения: основной металл, сварной шов, околошовная зона (зона термического влияния). Поэтому выбор сварочных электродов и технологии сварки производится с таким расчетом, чтобы три указанные элемента имели приблизительно одинаковые потенциалы. Это достигается применением соответствующих сварочных материалов.

2.3.2. Коррозионно-стойкие стали

По составу коррозионно-стойкие стали подразделяются на хромистые (Fe-Cr), хромоникелевые (Fe-Cr-Ni) и хромоникельмарганцовые (Fe-Cr-Ni-Mn). Кроме основных легирующих компонентов, эти стали могут быть дополнительно легированы молибденом, медью, кремнием, титаном, ниобием, которые вводят в состав сплавов главным образом для повышения их коррозионной стойкости в определенных средах.

Легирующие добавки, особенно хром, облегчают переход металла в пассивное состояние. При достаточном легировании сплавы пассивируются непосредственно кислородом воздуха или раствора, как это имеет место для чистого хрома. Степень устойчивости пассивного состояния определяется коррозионная стойкость этих сталей.

Коррозионно-стойкие стали в определенных условиях могут подвергаться интенсивной коррозии. Например, в морской воде, в слабокислых растворах, содержащих хлорид-ион, имеет место точечная коррозия (питтинг), которая развивается в отдельных точках на поверхности и распространяется в глубину металла. Процесс происходит весьма интенсивно в связи с тем, что очень незначительная площадь поверхности с разрушенной пассивной пленкой (анод) взаимодействует с большей частью поверхности, находящейся в пассивном состоянии (катод).

Если изделия из нержавеющей сталей имеют щели или узкие зазоры, то есть опасность возникновения щелевой коррозии, при которой вследствие недостатка кислорода и подкисления раствора в зазоре (рН сдвигается до 2,7-3,0) сталь переходит в активное состояние.

Помимо щелевой коррозии и питтинга коррозионно-стойкие стали при некоторых режимах термообработки склонны к межкристаллитной коррозии, когда разрушаются участки поверхности металла по границам зерен (анодам), а остальная поверхность металла (катод) находится в пассивном состоянии.

2.3.3. Медь и медные сплавы

Коррозионная стойкость меди и медных сплавов представляет особый интерес, так как обычно эти материалы применяются без специальных средств противокоррозионной защиты.

Медь пассивируется очень слабо, поэтому кислород и другие окислители в атмосфере, водных средах, в кислых и щелочных растворах являются деполяризаторами и увеличивают скорость коррозии.

В атмосфере скорость коррозии меди небольшая за исключением сильно загрязненной, особенно сернистыми соединениями, где коррозия может быть интенсивной. В пресной и морской воде медь устойчива, однако в потоке скорость коррозии может возрасти в десятки раз, причем разрушения приобретают язвенный характер и достигают величин в несколько миллиметров, в год.

Указанные особенности коррозионного поведения меди характерны и для основных медных сплавов латуней и бронз.

Латуни содержат от 10 до 50% цинка и для повышения коррозионной стойкости в состав вводят различные присадки: алюминий, олово, кремний, железо, никель и др. Для латуней характерны такие виды коррозионных разрушений, как обесцинкование (растворение анодной фазы цинка) и коррозионное растрескивание в случае наличия в изделиях остаточных напряжений после их обработки. Скорость обесцинкования латуней в морской воде может достигать 5 мм/год.

Наиболее распространенные бронзы – оловянистые (до 20% олова) и алюминиевые (5-10% алюминия) – содержат в небольших количествах добавки марганца, никеля, свинца, железа и др. металлов. Коррозионная стойкость бронз, как правило, выше, чем меди и латуней.

Бронзы устойчивы в атмосфере (исключая очень загрязненную), в пресной и морской воде, в щелочной среде и в разбавленных неокислительных кислотах, например, в серной и соляной.

Склонность к щелевой коррозии у медных сплавов меньше, чем у нержавеющей стали, хотя она и наблюдается на практике у ряда латуней и алюминиевых бронз.

Коррозионно-механическим разрушениям (растрескиванию, усталостным разрушениям) медные сплавы также подвержены менее, чем коррозионно-стойкие стали.

2.3.4. Алюминиевые сплавы

Алюминий и алюминиевые сплавы нашли применение во многих областях техники в связи с тем, что они соединяют в себе многие ценные качества: легкость и прочность, теплопроводность и электропроводность, высокую коррозионную стойкость, большое разнообразие сплавов с широким спектром функциональных свойств.

Чистый алюминий по своим химическим свойствам очень активен, но в присутствии окислителей образует плотную защитную пленку Al_2O_3 или $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, поэтому достаточно устойчив в атмосфере, воде, большинстве нейтральных и многих слабокислых растворах вследствие склонности к пассивированию.

Защитные пленки на алюминии растворяются в сильных кислотах и особенно легко в щелочах. Они устойчивы при pH от 3 до 9; в более кислых и щелочных средах алюминий активируется и растворяется с выделением водорода.

В технике в основном используется не чистый алюминий, а различные алюминиевые сплавы, которые имеют более высокие механические свойства, но, как правило, более низкую коррозионную стойкость. Чаще всего компонентами сплавов являются медь, марганец, магний, цинк и кремний.

Сплавы системы Al-Mg характеризуются хорошей коррозионной стойкостью и довольно высокой прочностью, что позволило широко внедрять их для изготовления конструкций, работающих в агрессивных средах, в частности, судовых конструкций, контактирующих с морской водой и морской атмосферой.

Сплавы Al-Mg-Si применяются в тех случаях, когда нужно обеспечить в конструкциях максимальную прочность, хотя при этом несколько снижается коррозионная стойкость и приходится предусматривать какие-либо меры противокоррозионной защиты.

Сплавы Al-Cu с добавками никеля, магния и кремния (типа дуралюмина) обладают еще большей прочностью ($\sigma_b \geq 300$ МПа), но низкой коррозионной стойкостью, поэтому использовать их можно только со средствами противокоррозионной защиты (анодирование, окраска).

Сплавы Al-Zn-Mg относятся к высокопрочным ($\sigma_b \geq 250$ МПа) термически упрочняемым деформируемым сплавам и сочетают высокую прочность с неплохой коррозионной стойкостью (на уровне системы Al-Mg-Si). Эти сплавы требуют строгого соблюдения технологии производства, особенно термообработки, иначе возникает опасность коррозионного растрескивания.

Несмотря на хорошую в целом коррозионную стойкость алюминиевых сплавов, в изделиях и конструкциях следует применять определенные меры по предотвращению некоторых специфических видов коррозионного разрушения.

Алюминиевые сплавы обладают более электроотрицательным потенциалом (от $-0,55$ до $-0,7В$) по сравнению с другими конструкционными металлами и сплавами, поэтому при использовании в конструкциях разнородных материалов следует учитывать опасность контактной коррозии.

Высокопрочные сплавы в агрессивных средах могут проявлять склонность к коррозионным растрескиванию и расслаиванию и межкристаллитной коррозии.

Коррозия алюминиевых сплавов в потоке воды, особенно морской, приобретает язвенный характер и может достигать разрушений до 4 мм/год.

При определенных условиях алюминиевые конструкции могут подвергаться питтингу и щелевой коррозии.