

УДК 621.81

Т.Л. Чемакина, канд. техн. наук, доцент

Я.В. Чемакина

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

МАТЕРИАЛЫ ТРУБОПРОВОДОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Обсуждаются свойства материалов, применяемых для изготовления трубопроводов судовых систем, виды коррозии стальных трубопроводов и способы борьбы с ними.

Ключевые слова: трубопровод, коррозия, коррозионное растрескивание.

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к материалу трубопровода, являются стойкость относительно среды как протекающей по трубопроводу, так и окружающей его, а также достаточная механическая прочность в рабочем диапазоне температур. Кроме того, выбор материала трубопровода зависит от экономических и технологических требований.

Цель работы – проанализировать свойства материалов, применяемых для изготовления трубопроводов судовых систем и оценить эффективность защиты стальных трубопроводов от коррозии.

Сырьем для изготовления трубопроводов в относительно большом объеме служит мягкая нелегированная сталь. Обычно используемые в судостроении нелегированные и слаболегированные стали удовлетворяют требованиям, делающих их пригодными к сварке. Важнейшим критерием является содержание углерода, которое, согласно нормам, не должно превышать 0,22 % во время плавки и 0,25 % в заготовке [1]. Так как в судовых трубопроводах используются трубы, у которых толщина стенок не превышает 10-12 мм, опасность разрушения сварных швов вследствие хрупкости материала может не приниматься во внимание. Кроме того, в практике эксплуатации трубопроводов редки случаи сильного понижения температуры.

На выбор стали влияет предполагаемый диапазон эксплуатационных температур. На рисунке 1 показано изменение механических свойств мягкой стали, имеющее место при достаточно кратковременном воздействии температур. Падение разрывного удлинения, относительного сужения при разрыве, ударной вязкости и увеличение предела прочности, предела текучести и твердости в диапазоне температур до 300°C носит название синеломкости и обусловлено усталостью материала. Однако с практической точки зрения все перечисленные изменения незначительны вследствие достаточной вязкости в указанном диапазоне температур.

Основным критерием материала для изготовления судовых трубопроводов являются его коррозионные свойства. Важно отметить, что нет материала, в равной степени пригодного для изготовления любых трубопроводов, и, следовательно, выбор конкретного материала предполагает знание и учет конкретных условий эксплуатации системы. При проектировании сложных конструкций с применением различных материалов следует иметь в виду опасность контактной коррозии.

Существенное значение для долговечности трубопроводов имеют не только целесообразный выбор конструкции и материала, но и правильный режим эксплуатации. Примером является спуск воды из выключенных конденсаторов и тепломагистралей во избежание образования осадка на внутренних поверхностях, обуславливающего коррозионный эффект.

Разрушение металлов, погруженных в электролит, вследствие электрохимической реакции, происходящей на их поверхности, носит название **электрохимической коррозии** металлов. Следует отметить, что другой вид коррозии — химическая (действие сухих газов и пара) — не имеет существенного значения для судовых трубопроводов. Причиной любой коррозии является стремление металлов к термодинамически стабильному химическому соединению.

Если поместить пластины двух различных металлов в электролит, например в морскую воду, и соединить их проводником с включенным в него гальванометром, то можно убедиться в существовании тока, протекающего в направлении от металла с более отрицательным потенциалом (анод) к металлу с менее отрицательным потенциалом (катод).

Металл анода переходит в раствор в виде положительно заряженных ионов, а оставшиеся на аноде электроны переходят по проводнику на катод благородного металла. Таким образом, анод становится отрицательным полюсом, а катод — положительным. Этот способ обозначения является обратным относительно принятого в электротехнике. В соответствии с законом Фарадея уменьшение массы анода определяется формулой $M = (tm/Fn)I$ [2], где t — время электролиза, ч; m — атомная масса; $F = 26,8$ А-ч; n — заряд ионов металла (например, у цинка Zn^{++} $n = 2$); I — сила тока, А.

Для практических измерений используются полуэлементы, например электроды, потенциал которых составляет известную часть потенциала нормального водородного электрода. Для металлов,

применяемых в судостроении, практически удобнее исходить из ряда напряжений по отношению к азрированной морской воде [1].

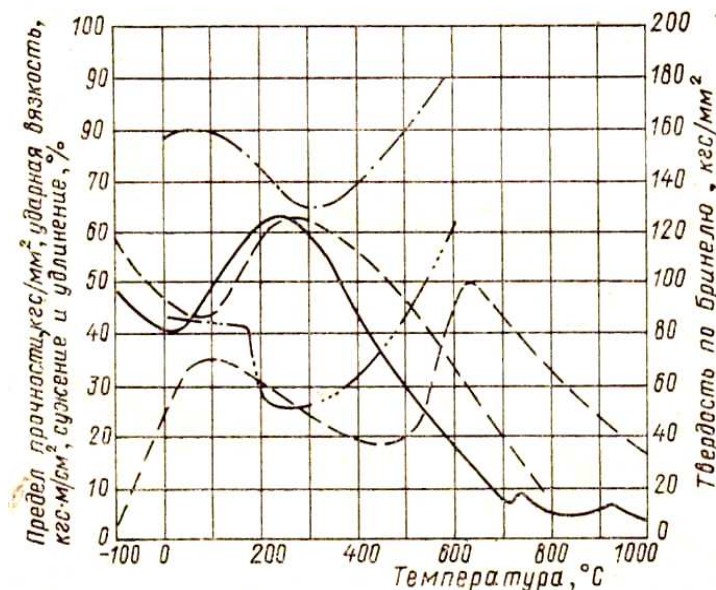


Рисунок 1 – Зависимость механических качеств мягкой нелегированной стали от температуры:

— — — — — разрывное сужение; твердость; — — — — — предел прочности;
 — : — : — разрывное удлинение; - - - - - ударная вязкость

Для железа (и аналогично свинца и цинка) в условиях нейтрального, слабокислого или слабощелочного раствора, т.е. в естественных условиях морской, речной и дождевой воды, при электрохимической коррозии имеют место следующие реакции на аноде и катоде:

Анодная реакция $\text{Fe} - \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$ [2] (растворение металла; освобождающиеся электроны переходят по металлу на катод).

Катодная реакция 1. $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- - 4\text{OH}^-$ [2] (деполяризация образовавшихся при анодной реакции электронов растворенным в воде кислородом).

2. $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- - \text{H}_2$ [2] (деполяризация образовавшихся при анодной реакции электронов выделяющимся на катоде водородом).

В водной среде кислородная деполяризация сильно превосходит водородную деполяризацию, поскольку в этих условиях на катоде выделяется ничтожное количество водорода, и поэтому скорость коррозии в первую очередь определяется поступлением на катоде кислорода (так называемый кислородный тип коррозии). Коррозия этого типа не зависит от химического состава материалов, за исключением случая пассивации металла посредством легирующей присадки, например 13 % хрома для железа. Следует отметить, что с возрастанием содержания кислорода коррозия все больше концентрируется на отдельных участках, т.е. принимает вид сплошных язв.

Для развития процесса **контактной коррозии** существенны два условия: наличие электролита между металлами с различным электрохимическим потенциалом и проводниковая связь между электродами. Электролита в виде пленки влаги достаточно, чтобы поверхность металлов начала корродировать уже при относительной влажности воздуха 65 %. Ржавление железа начинается в условиях атмосферного воздуха. В морских районах атмосферный воздух агрессивнее атмосферного воздуха над сушей. Возможность коррозии при контакте различных металлов, как, например, стальных труб и арматуры из сплава меди, в значительной мере зависит от разности их потенциалов покоя в условиях морской воды [2]. Склонность к контактной коррозии растет с увеличением расстояния между отдельными группами металлов, причем металл, принадлежащий к группе с меньшим номером, является катодом, а металл в группе с большим номером — анодом и в этом качестве подвержен сильной коррозии.

В заключение следует отметить активизирующую роль графита в контактной коррозии. Особой стойкостью в этом отношении отличаются титан и нержавеющие стали. Однако и нержавеющая сталь подвержена щелевой коррозии в условиях морской воды. Учитывая сказанное, следует избегать применения уплотнений, содержащих графит, в трубопроводах и арматуре для морской воды.

Как показывает практика, упущения в электрической изоляции пар металлов, предрасположенных к контактной коррозии в условиях морской воды, приводят к аварии по истечении полугода – двух лет (в зависимости от характера этих упущений). Значительно меньшую опасность представляет вода для металлов с низкой проводимостью.

Для протекторной защиты в качестве анода используются металлы, имеющие достаточно высокий выход по току, т.е. подверженные сильной контактной коррозии) и не склонные к пассивации своей поверхности с течением времени.

Для медных сплавов (особенно для Си–Zn-сплавов с высоким содержанием Zn) рекомендуются аноды из железа (мягкое железо или нелегированная сталь), для нелегированной стали (к ней относится судостроительная сталь) — цинк высокой чистоты (максимальное содержание железа — 0,0015 %), магниевый сплав ($MgA_{16}Zn_3$) или применяемые в последнее время специальные алюминиевые сплавы. Чтобы уменьшить ток при магниевой защите стали, необходимо включить в цепь металлических проводников дополнительное сопротивление, выбираемое в зависимости от анода протекторной защиты. Кроме того, при магниевой защите поверхности железа необходима особо тщательная, не содержащая пор окраска во избежание повышенной точности, возникающей вследствие интенсивного электролитного образования ионов OH^- . Невыполнение этого требования ведет к вспучиванию и даже отпадению слоя краски из-за образования катодного водорода.

Для защиты внутренних поверхностей трубопроводов морской и пресной воды указанные меры не подходят. В трубопроводах пресной воды этому мешает недостаточная электрическая проводимость электролита; в трубопроводах морской воды область применения анодной протекторной защиты невелика и значительно сужается с ростом скорости воды в трубопроводе.

Примером успешного применения катодной защиты в условиях циркуляции морской воды является изготовление днища концов трубок конденсатора из латуни с высоким содержанием цинка.

Вместо протекторной защиты можно снизить потенциал защищаемого металла принудительным пропусканием постоянного от какого-либо источника. Однако этот способ защиты судовых трубопроводов не экономичен.

В судовых трубопроводах возможно возникновение *целевой коррозии и коррозии вследствие солевых отложений*. Оба вида коррозии пассивных материалов представляют собою разрушение пассивирующего слоя под солевыми отложениями или в конструктивно обусловленных щелях, как, например, во фланцевых соединениях. Медные сплавы относительно слабо подвержены такой коррозии, нержавеющие стали — в значительной степени. Во избежание солевых отложений в трубопроводах для морской воды следует поддерживать минимальную скорость потока 1 м/с — 0,7 м/с.

Понижение усталостной прочности материала вследствие его коррозии называется коррозионной усталостью. Этот эффект обусловлен в основном образованием коррозионных рубцов, которые подобно глубоким микроскопическим трещинам уменьшают усталостную прочность материала. Уменьшение усталостной прочности особенно заметно у нелегированных сталей. Для этих сталей с увеличением предела текучести при растяжении и предела прочности при разрыве падение усталостной прочности может достигать 90%. Напротив, медь и ее сплавы обладают значительно большим усталостным сопротивлением. Указанные зависимости действительны только в случае, когда исключены другие коррозионные эффекты, например эрозийная коррозия.

Коррозионное растрескивание. Растрескивание без изменения формы материала, находящегося в напряженном состоянии растяжения при воздействии соответствующего реактива, называется коррозионным растрескиванием. При этом напряжения растяжения могут быть обусловлены как условиями эксплуатации, так и способом изготовления или обработки материала. В процессе коррозионного растрескивания эти напряжения превосходят определенное, но в большинстве случаев заранее неизвестное значение. Состояние внутренней напряженности у некоторых материалов может быть следствием обработки их методом холодной штамповки.

Коррозионные трещины имеют межкристаллитный характер и при наличии пассивирующего слоя выходят на поверхность. Так, железо в активном состоянии подвергается только обычной коррозии (ржавлению) и ни в коем случае — коррозионному растрескиванию.

Для устранения опасности коррозионного растрескивания наряду с изоляцией от агрессивной среды и целесообразным выбором материала трубопровода может быть использован способ понижения растягивающих напряжений. Во многих случаях этого удастся достигнуть отжигом материала, в значительной мере снимающим внутренние напряжения.

Защита от коррозии. Коррозии, как правило, подвергаются не только внутренние, но и внешние поверхности судовых трубопроводов. Внутренние поверхности поражаются вследствие контакта с движущейся жидкостью, внешние — вследствие образования водного конденсата в замкнутых полостях, воздействия морской воды в балластных цистернах или атмосферного воздуха при расположении трубопроводов на верхней палубе. С коррозией внешней поверхности стальных трубопроводов можно успешно бороться, как это подтверждает опыт, посредством регулярной окраски, т.е. способом,

применяемым для предохранения от коррозии стального корпуса корабля. Ржавление таких трубопроводов с внешней стороны является относительно редким и наблюдается прежде всего там, где невозможно регулярное обновление окраски из-за затрудненного доступа. Прокладка стальных трубопроводов должна исключать возможность контакта с трюмной водой.

Внешние поверхности трубопроводов пара и особенно магистралей, отводящих конденсат, подвергаются сильной коррозии, если материал теплоизоляции пропитан влагой. В связи с этим следует уделять особое внимание защите изоляции от брызг и влаги, содержащейся в воздухе, с помощью влагонепроницаемого покрытия.

Защиту внутренней поверхности стальных трубопроводов посредством ее окраски в настоящее время применяют только в случае необходимости. Для такой защиты наряду с металлическими покрытиями (например, горячее цинкование стальных труб) используют покрытия из пластика, которые особенно эффективны в условиях морской воды, в то время как цинкование обеспечивает только временную защиту от коррозии. Плотное, лишенное пор покрытие получают путем погружения в ванну с материалом покрытия, не содержащим растворитель, и эмалирования. Однако такое эмалевое покрытие является хрупким и не обеспечивает надежную защиту из-за недостаточной толщины в местах излома поверхности, на краях и в местах неаккуратно выполненных сварных швов. Однако эпоксидная смола должна наноситься на поверхности, предварительно подвергнутые горячему цинкованию. При эмалировании это исключается из-за высокой температуры материала покрытия. Наряду с пластиковым и эбонитовым покрытием судовых трубопроводов заслуживают внимания покрытия из материалов, химически нейтральных к транспортируемой по трубопроводу среде. О нецелесообразности катодной защиты в рассматриваемом случае говорилось ранее.

Для замкнутых циклов, например в паровых энергетических установках или в системе охлаждения циркулирующей пресной водой дизельных установок, целесообразна подготовка воды путем присадки ингибитора. Благодаря этому также происходит пассивация нелегированного железа и, следовательно, уменьшается опасность коррозии. При выборе присадки следует учитывать возможность коррозионного растрескивания и усиления коррозии материалов, используемых в отдельных частях трубопроводов и не имеющих в своей основе железа. Так, например, иногда используемый в паровых машинах гидразин вызывает коррозионное растрескивание обычной и специальной латуни. Однако даже в системах питьевой воды при соответствующем ее составе образовавшийся коррозионный слой препятствует дальнейшему развитию коррозии.

Библиографический список использованной литературы

1. Епифанов Б.С. Судовые системы: учебник / Б.С. Епифанов. — 2-е изд. перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1980. — 175 с.
2. Судовые трубопроводы. Пер. с нем. / Д. Бом [и др.]. — Л.: Судостроение, 1986. — 284 с.
3. Хордас Г.С. Расчеты общесудовых систем: Справочник / Г.С. Хордас. — Л.: Судостроение, 1983. — 440 с.

Поступила в редакцию 27.09.2011 г.

Чемакіна Т.Л., Чемакіна Я.В. Матеріали трубопроводів суднових систем

Аналізуються матеріали, вживані для виготовлення трубопроводів суднових систем, види корозії сталевих трубопроводів і способи боротьби з ними.

Ключові слова: трубопровід, корозія, корозійне розтріскування.

Chemakina T.L., Chemakina Ja.V. Materials of pipelines of ships systems

The materials applied for making of pipelines of the ships systems, types of corrosion of steel pipelines and methods of fight, are analyzed against them.

Keywords: pipeline, corrosion, corrosive to crack.