



УДК 621.182.176; 627.32

АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ И ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**ANALYSIS OF CORROSION WEAR OF PIPELINES AND HEAT NETWORKS****Маликов Нурбол Муратович**

магистр,
преподаватель кафедры
энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Нешина Елена Геннадьевна

магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Альмусин Гали Такимович

кандидат технических наук,
профессор кафедры
энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Амантай Жандос Ержанұлы

магистрант 2 курса
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет
nurbolmalikovxd@mail.ru

Аннотация. В статье выполнено теоретическое исследование коррозионного износа, изменение скорости коррозии, допустимой динамического напряжения в условиях коррозионного износа трубопроводов и теплоэнергетического оборудования. В данной научной статье раскрывается, ряд интересных явлений, происходящих при поражении коррозией, металла. Исследованы основные уязвимые места тепловых сетей, а также участки с наименьшим риском прорыва. За основу исследований взяты данные, полученные от служб местных ЖКХ г.Караганда. Во время написания статьи были изучены материалы, полученные в течение одного отопительного периода. Исследовано динамическое напряжение в стенке трубопровода, проблемы, возникающие при проектировании трубопроводов и теплоэнергетического оборудования, предложены ряд решений этих проблем. Выявлены ряд факторов, условий для правильной и надежной работы, рассчитаны реальные сроки эксплуатации тепловых сетей.

Ключевые слова: коррозия, скорость коррозии, трубопроводы и теплоэнергетическое оборудование.

Malikov Nurbol Muratovich

Master's degree, teacher of the Department
of energy systems,
Karaganda state technical university

Neshina Yelena Gennadievna

Master's degree,
Senior lecturer of the Department
of energy systems,
Karaganda state technical university

Almusin Gali Takimovich

Candidate of Engineering Sciences,
Professor of the Department
of energy systems,
Karaganda state technical university

Amantai Zhandos Erzhanuly

2st year master's student
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university
nurbolmalikovxd@mail.ru

Annotation. The article carried out a theoretical study of corrosion wear, a change in the corrosion rate, permissible dynamic stress in the conditions of corrosion wear of pipelines and heat power equipment. This scientific article reveals a number of interesting phenomena that occur when metal is damaged by corrosion. The main vulnerabilities of heating networks, as well as areas with the least risk of a breakthrough, were investigated. The research was based on data obtained from the local utility's services of the city of Karaganda. At the time of writing, the materials obtained during one heating period were studied. The dynamic stress in the wall of the pipeline, the problems that arise during the design of pipelines and heat power equipment, are investigated, and a number of solutions to these problems are proposed. A number of factors, conditions for the correct and reliable operation were identified, the real life of heating networks was calculated.

Keywords: corrosion, corrosion rate, pipelines and heat power equipment.

Трубопроводные системы теплоснабжения работают в условиях, когда транспортируемая по ним горячая вода обладает коррозионной активностью.

По действующим нормам в прочностных расчетах этих трубопроводов учитывается работа под статической нагрузкой при отсутствии коррозии, проектирование же защиты от почвенной коррозии ведут без учета механических напряжений и структурно чувствительных свойств стали. Однако в реальных условиях вышеназванные трубопроводы и их сварные узлы испытывают действия как статических,



так и динамических нагрузок от колебаний давления, температуры и вибрации при одновременном действии коррозионной среды (внутренней и внешней), приводящих в совокупности к коррозионной усталости металла. Раздельный подход к механике и коррозии игнорирует хорошо известный факт, что совместное действие коррозии и переменных механических напряжений неизбежно вызывает механохимические явления, отсутствующие при коррозии ненапряженного металла или при механическом нагружении без воздействия коррозионной среды: значительное увеличение скорости коррозии напряженного и деформированного металла по сравнению с ненапряженным (механохимическая коррозия) и потеря металлом сопротивляемости нагрузкам, намного меньшим стандартных предела прочности или предела усталости.

Влияние напряжений на коррозию многократно усиливается в местах резких изменений геометрической формы поверхности, являющихся концентраторами напряжения (сварные швы, поверхностные дефекты, царапины, задиры и т.п.), что вызывает неравномерность коррозии и ее локализацию. В результате этого возникает коррозионная усталость металла, характеризующаяся развитием коррозионного процесса в вершине коррозионно-механической трещины, приводящей к разрушению. Факты, приведенные в некоторых работах, подтверждают коррозионно-усталостную природу возникновения трещин при разрушениях на ряде теплопроводов.

Для определения скорости коррозии на практике используются испытания на образцах-свидетелях, установленных в действующие трубопроводы. Однако, получаемые при таких испытаниях результаты, не учитывают влияния напряженного состояния, возникающего в стенках, на скорость коррозии.

Изменение скорости коррозии под действием механических напряжений можно определить, используя зависимость:

$$C = C_0 * \exp \left(\frac{V_m \delta_q}{RT} \right), \quad (1)$$

где C – скорость коррозии металла при действии механических напряжений; C_0 – скорость коррозии ненапряженного металла; V_m – мольный объем металла; δ_q – напряжение испытываемое материалом стенок; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Из уравнения видно, что с увеличением величины δ_q повышается скорость коррозии. Таким образом, в зонах концентрации напряжений металл будет корродировать быстрее.

Переменный характер действующей на трубопровод нагрузки и другие факторы могут привести к образованию микротрещин в материале стенок. На концах микротрещин напряжения будут близки к разрушающим, поэтому с течением времени размеры микротрещин будут увеличиваться, расширяя зону коррозии. При этом, максимальная скорость коррозии будет на тех участках, на которых напряжения будут близки к прочности материал δ_{np} . Исходя из этого, наибольшее изменение скорости коррозии можно определить из формулы:

$$\beta = \frac{c}{c_0} * \exp \left(\frac{V_m \delta_{вр}}{RT} \right). \quad (2)$$

Расчеты по формуле показывают, что для трубопроводов из низкоуглеродистой стали с $\delta_{вр} = 550$ МПа величина $\beta = 4,86$, т.е. скорость коррозии увеличивается почти в 5 раз. Этот результат согласуется с результатами натуральных наблюдений.

Если исключить различные дефекты, наиболее уязвимым звеном трубопроводов является зона сварного соединения.

Испытания по симметричному циклу показали, что при чистом изгибе образцов из стали 17 ПС, внутренний и наружный шов влияет на долговечность соединений с большей значимостью по сравнению с долговечностью металла трубы. Также испытания показали, что долговечность образцов со сварными швами в четыре с лишним раза меньше образцов без сварных швов, а коррозионно активная среда (3 % хлорид натрия, имитирующий пластовые воды) во всех случаях снижает долговечность более чем на 30 %. И хотя эти экспериментальные данные не полностью подтверждают результаты оценок увеличения скорости коррозии, приведенных выше – это стоит отнести к временному фактору, а именно к тому, что испытания на усталость образцов вырезанных из трубопровода проводились в течение короткого промежутка времени с частотой нагружения чистым изгибом 50 циклов в минуту.

Учитывая, что большинство трубопроводов работает при рабочих давлениях, вызывающих напряжения в материале трубы до 0,4–0,5 от предела текучести – 8 т, реальное уменьшение срока службы трубопровода при воздействии переменных нагрузок можно оценить в восемь-десять раз, т.е. при расчетном сроке эксплуатации 30–40 лет, реальный срок жизни трубопровода до разрыва не превысит 5–6 лет. Для реальной оценки допустимой составляющей от динамической нагрузки на трубопровод можно использовать результаты проведенных ремонтных работ службы ЖКХ Элементы трубопроводов перекачивающих станций, наряду с указанной нагрузкой, испытывают воздействие



высокочастотной составляющей переменных составляющих относительно малой амплитуды. Амплитуда составляет 4–7 МПа при частотах 280–350 Гц на перекачивающих насосных станциях (ПНС).

Исследования многих ученых показали, что в зонах концентрации напряжений в связи с высоким градиентом деформаций, наблюдается нагружение, близкое к жесткому. А также показали, что независимо от типа материала и зон сварного соединения данные по долговечности при этом типе нагружения образуют единую полосу разброса, хорошо описываемую уравнениями Мэнсона при минимальных и максимальных значениях δ_b для данного материала:

$$\varepsilon * N^m = \frac{\ln\left(\frac{1}{1-\theta}\right)}{2} . \quad (3)$$

где ε – амплитуда деформации; N – число циклов до разрушения; θ – относительное сужение после статических испытаний на разрыв; $m = 0,5$ – для коррозионно неактивных сред при нормальной температуре.

Очень важным является вопрос возможности зарождения и распространения усталостных трещин в трубопроводах при переменных напряжениях малой амплитуды. Результаты исследований, приведенные в работе, показывают, что при плоском напряженном состоянии и отношении главных напряжений $\frac{\delta_t}{\delta_m} = 0,5$ (что характерно для трубопроводов), а также при наличии остаточных напряжений в сварных швах максимальная предельная амплитуда изменения напряжения для низкоуглеродистых сталей не превышает 10 МПа при общем числе циклов нагружения $N = 105$ и статической составляющей порядка 0,7–0,8 от δ_t .

С учетом изложенного, представляется целесообразным для трубопроводных систем теплоснабжения в условиях коррозионного износа ограничить допустимую динамическую составляющую напряжения в стенке трубопровода из-за воздействия волновых и вибрационных процессов величиной $\Delta\delta_q \leq 2 - 3$ МПа

В процессе эксплуатации трубопроводных систем теплоснабжения, неизбежно возникают достаточно интенсивные волновые (колебания давления, гидроудары и т.п.) и вибрационные процессы из-за включения или отключения дополнительных циркуляционных насосов, подпиточных насосов, аварийных отключений электропитания, ошибочных действий обслуживающего персонала и т.п., которые приводят к возникновению, с течением времени, усталостных и коррозионно-усталостных трещин в местах сварных соединений или каких либо дефектов, являющихся концентраторами напряжений (царапины, задиры, заводские дефекты и пр.).

Все эти факторы, как правило, не учитываются при проектировании трубопроводных систем. В большинстве нормативных документов, в лучшем случае, регламентируются допустимые уровни вибрации трубопроводов, а требования к пульсациям давления в этих документах отсутствуют. В нормативных документах многих отраслей промышленности отсутствуют не только ограничения на колебания (пульсации) давления в трубопроводах, но и ограничения на уровень вибрации. Следствием этого является высокая и постоянно возрастающая аварийность на трубопроводном транспорте (на 7-9 % ежегодно).

Литературы

1. Авторегуляторы горячего водоснабжения конструкции ОРГРЭС.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М. : Недра, 1970.

References

1. Auto regulators of hot water supply of ORGRES design.
2. Altshul A.D. Hydraulic Resistances. – M. : Nedra, 1970.