

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

*Павлова Галина Анатольевна*

*Докторант кафедры «Испытание зданий и сооружений»  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,  
кандидат технических наук, доцент*

В настоящее время большинство листовых линейно-протяженных металлических конструкций (ЛЛПМК) металлургических предприятий, к которым относятся трубопроводы больших диаметров (более 1400 мм) для транспортирования технологических горючих газов, эксплуатируются в средах различной степени агрессивности. Одной из основных причин преждевременного выхода из строя металлических конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах, является коррозия металлов. Кроме того, следует иметь в виду, что большинство объектов металлургического комплекса работает за пределами проектного ресурса. По мере старения листовых конструкций возрастает опасность возникновения аварийной ситуации. Система листовых линейно-протяженных металлических конструкций формируется в реальных условиях строительства и эксплуатации и неизбежно претерпевает при этом значительные изменения технического состояния, связанные с накоплением повреждений – вследствие этого происходит снижение ее надежности. Анализ причин аварий подтверждает, что они происходят, как правило, от неблагоприятного сочетания нескольких факторов. Причины появления и степень их влияния на надежность эксплуатации различны, но повреждения от их сочетания могут создать аварийную ситуацию на объектах со сроками эксплуатации 20-50 лет.

Борьба с коррозией является одной из актуальных проблем как за рубежом, так и в нашей стране. Опыт диагностирования ЛЛПМК для транспортировки технологических газов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» показал, что скорость коррозии отдельных участков по длине трубопровода превышает среднюю скорость коррозии на 2 порядка. При средней скорости коррозии 0,03 мм/год наблюдались сквозные поражения стенки газопровода толщиной 8-12 мм за 10-15 лет (скорость коррозии 0,8 мм/год). Усредненные результаты измерения толщины стенок приведены в табл. 1.

Коррозия обследованных газопроводов доменного газа происходила с внутренней стороны стенок. Доменный газ содержит влагу, значительное количество оксида и диоксида углерода и не содержит кислород, т.е. коррозия внутренней поверхности протекает по электрохимическому механизму с водородной деполяризацией.

Таблица 1

Наименование ЛЛПМК	Диаметр трубопровода, мм	Номинальная толщина стенки, мм	Минимальная измеренная толщина стенки, мм	Срок службы, лет	Марка стали
Прямого коксового газа	1520-2420	8,0-10	5,2-6,3	33	Ст3, 17Г1С
Коксового газа	1820-2020	10	0-5,4	36	ВСт3сп, 17ГС
Обратного коксового газа	2020-3600	10	0-5,2	47	ВСт3сп, 20, 17ГС
Доменного газа	1620-3250	10-12	2,1-4,6	45	ВСт3сп, 10, 20
Смешанного газа	1720-2880	10-12	2,2-3,6	54	Ст3сп, 20

При анализе условий эксплуатации ЛЛПМК технологических газов установлено, что вследствие местного коррозионного поражения нарушается целостность конструкций трубопроводов коксового газа. Коррозии подвержена как внешняя, так и внутренняя сторона конструкций. Наиболее уязвимыми являются верхняя и боковые стороны обечайки конструкции, т.к. в нижней части скапливаются отложения смол и нафталина, препятствующие активному развитию коррозионных процессов. Увеличивает скорость коррозии и агрессивность среды проведение периодической или постоянной пропарки. При этом пары воды взаимодействуют с агрессивными агентами коксового газа и образующиеся кислоты вызывают активный общий и локальный (язвенный) коррозионный износ вплоть до сквозного повреждения, что фиксировалось как при проведении визуального контроля, так и при проведении периодического мониторинга толщины конструктивных элементов.

Сочетание активных коррозионных агентов в смеси доменного и коксового газа вызывает быстрый коррозионный износ внутренних и наружных стенок конструкций смешанного газа.

В ЛЛПМК встречаются все виды коррозии: питтинговая, язвенная, общая, коррозионное растрескивание под напряжением (рис.1).

В процессе технического диагностирования для определения степени повреждения были выполнены исследования микроструктуры сталей ЛЛПМК. Исследования проводились неразрушающим методом изготовления шлифов непосредственно на поверхности ЛЛПМК: на основном металле и зонах термического влияния сварных швов. Просмотр шлифов производился с помощью переносного микроскопа типа МПМ-2У-КС №М10503. Структура металла фиксировалась с помощью цифровой фотокамеры Panasonic DMC-LX3. Фотографии подвергались обработке с

помощью программы MICROKON MET 5.7. По результатам исследования было определено, что микроструктура металла ЛЛПМК из стали 20 состоит из феррита, незначительного количества бейнита, сфероидизированного перлита и структурно свободных карбидов, расположенных по и внутри зерен феррита. В средней части образцов обнаружены микротрещины длиной до 1500 мкм. На внутренней и наружной поверхностях образцов при увеличении  $\times 100$  и  $\times 200$  (рис. 2, 3) обнаружен поверхностный слой, подверженный коррозионному разрушению металла, толщина слоя достигает 500 мкм. Кроме того на внешней поверхности образцов ЛЛПМК обнаружены поверхностные трещины, глубиной до 450 мкм (рис. 4). Также в слое, прилегающем к наружной поверхности, обнаружены поры, размер которых составляет от 20 до 35 мкм.

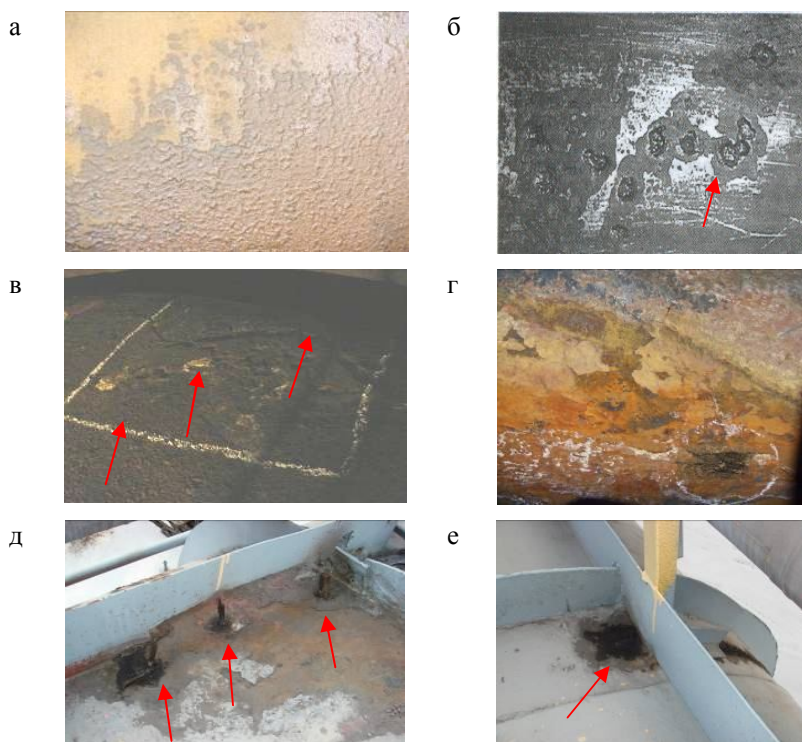


Рис. 1. Внешний вид повреждений:

а – сплошная коррозия; б – язвенная коррозия; в, г – общая коррозия с проявлением язвенной; д, е – сквозное коррозионное повреждение

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

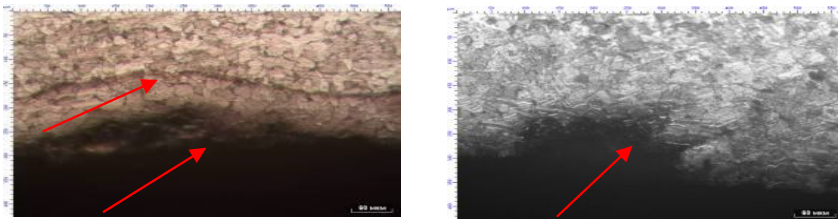


Рис. 2. Микроструктура внутренней поверхности образца стали 20 (эксплуатация 26 лет) ( $\times 100$ )

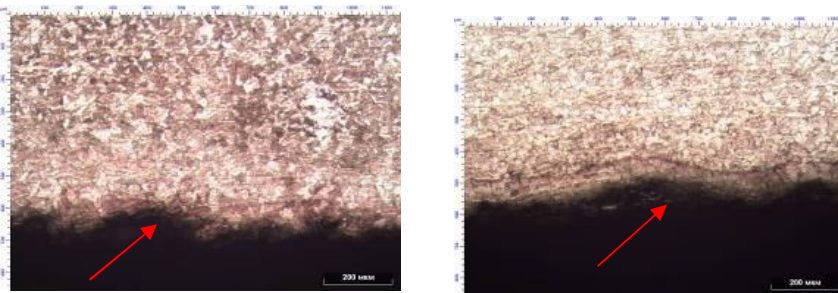


Рис. 3. Микроструктура наружной поверхности образца стали 20 (эксплуатация 26 лет) ( $\times 200$ )

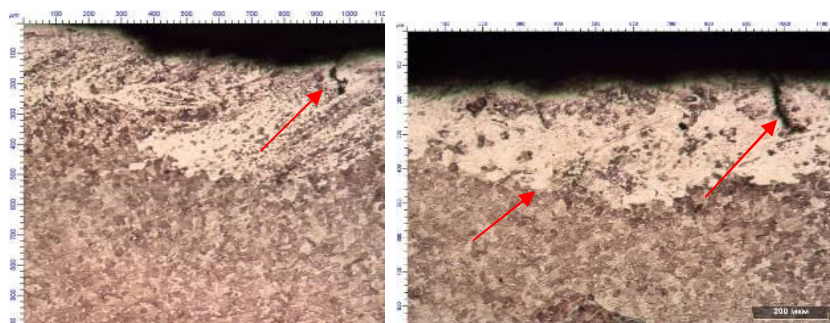


Рис. 4. Микроструктура внешней поверхности образца стали 20 (эксплуатация 26 лет) ( $\times 100$ )

Все это свидетельствует об изменении структуры металла ЛЛПМК после длительной эксплуатации.

Сложность и острота проблемы защиты металлов от коррозии возрастают в связи с непрерывным увеличением срока эксплуатации, изменением структуры и свойств металла в процессе длительной эксплуатации, многообразием коррозионных воздействий. Причинами аварийного

разрушения конструкций из-за коррозионных повреждений много: неправильный подбор противокоррозионной защиты; некачественное производство работ по защите конструкций; нарушение технологических режимов производства, несоблюдение сроков выполнения противокоррозионной защиты, приведенных в НТД.

Недостаточное внимание к вопросам защиты от коррозии приводит к увеличению вероятности повреждения металла ЛЛПМК, при этом надежность и долговечность зависят от скорости протекания процессов разрушения под воздействием агрессивных сред. Поэтому должны быть разработаны научно обоснованные рекомендации для всех стадий жизни конструкций. Технические мероприятия, обеспечивающие заданную долговечность металлических конструкций в агрессивных средах должны проводиться в первую очередь на стадии проектирования и изготовления. При этом следует учитывать, что надежность и долговечность ЛЛПМК зависят от ряда факторов: коррозионной стойкости конструкционного материала, сроков службы применяемых защитных покрытий, учета характера внутренней и наружной среды и т.п. В процессе эксплуатации ресурс ЛЛПМК может быть увеличен с помощью своевременного возобновления противокоррозионных защитных покрытий.

Основным фактором, влияющим на неравномерность скоростей коррозии, является уровень напряжений в металле. Поэтому изучение влияния напряженно-деформированного состояния на уровень местной коррозии, учет этого фактора при определении ресурса в ходе эксплуатации имеют большое значение. Под действием нагрузки в листовых конструкциях обечайки ЛЛПМК происходят процессы деформирования и разрушения. Агрессивная среда, проникая в металл через нарушения покрытий, концентраторы напряжений (дефекты сварки, трещины и т.п.), приводит к изменению структуры металла, изменению его механических свойств, что приводит к развитию процессов деформирования и разрушения. В свою очередь, эти процессы оказывают влияние на кинетику проникновения агрессивной среды вглубь металла. Эта физическая модель явлений, происходящих в конструкциях ЛЛПМК, позволяет использовать для построения моделей сопротивления конструкций воздействию агрессивных сред теорию структурных параметров, согласно которой любой процесс может быть описан уравнением состояния, в котором характеристики процесса определяются как функции параметров внешних воздействий и структурных параметров [1]. Для структурных параметров составляются кинетические уравнения, из которых в зависимости от вида и величины нагружения, температурных, физико-химических либо других воздействий можно определить характеристики процесса. Описанный подход представлен в [1, 2]. Для описания процесса деформирования и разрушения материала конструктивных элементов ЛЛПМК используется система параметров, включающая напряжение  $\sigma$ , деформацию  $\varepsilon$ , темпера-

туру  $T$ , степень поврежденности  $\alpha$ , время  $\tau$ , параметры, учитывающие особенности воздействия определенной коррозионной среды  $q_i (i=1 \dots n)$ . Феноменологическое уравнение, описывающее состояние системы, может быть записано в виде:

$$F(\sigma, \varepsilon, T, \alpha, q_i) = 0 \quad (1)$$

Для построения кинетических уравнений, описывающих изменение параметров  $q_i$  применяют следующую систему:

$$\begin{cases} q_1 = c; \\ q_2 = \mu; \\ q_3 = \psi, \end{cases} \quad (2)$$

где  $c$  – параметр, характеризующий распределение влияния агрессивной среды по объему конструкции;

$\mu$  – параметр химического взаимодействия;

$\psi$  – параметр сплошности, характеризующий уровень коррозионного поражения конструктивного элемента.

Уравнения, описывающие вышеприведенные параметры, могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{cases} \partial c / \partial \tau = \operatorname{div}(D \operatorname{grad} c) - g(c), \\ d\mu = f(\mu)d\tau + f(c)d\tau + f(\alpha)d\tau + f(T)d\tau, \\ \partial \psi / \partial \tau = \operatorname{div}(G \operatorname{grad} \psi), \end{cases} \quad (3)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;

$g(c)$  – функция, учитывающая связывание агрессивной среды в процессе химических превращений;

$G$  – коэффициент, характеризующий коррозионное сопротивление материала.

$$D = D_0 \exp(-E_0/RT), \quad (4)$$

где  $D_0$  – энтропийный фактор, зависящий от частоты «тепловых ударов» молекул среды ( $n \approx 10^{12} \text{ c}^{-1}$ ),

$$D_0 = n \cdot \exp(DS/R);$$

$R$  – газовая постоянная;

$DS$  – энтропия активации;

$E_0$  – энергия активации диффузии.

Добавляя к приведенным выше соотношениям уравнения устойчивости, прочности, неразрывности, учитывая граничные и начальные условия, соответствующие каждой группе уравнений, получим полную систему, описывающую кинетику изменения состояния конструкции под воздействием как агрессивной среды, так и других внешних воздействий.

### Библиографический список

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Механика конструкций с повреждениями: нелинейные модели и методы определения долговечности конструкций, работающих в агрессивных средах // Вестник центрального регионального отделения РААСН. – Тамбов-Воронеж, 2012. – С.120-127.
2. Овчинников И.Г. Тонкостенные конструкции в условиях коррозионного износа // Расчет и оптимизация. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1995. – 192 с.
3. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Интеллект, 2008 (4-е изд.).