

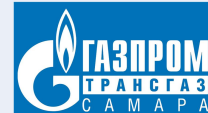
ПОДПОВЕРХНОСТНАЯ КОРРОЗИЯ КАК ОСНОВНОЙ ДЕГРАДАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ТРУБОПРОВОДНОЙ СТАЛИ 17ГС ПОСЛЕ 50 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

SUBSURFACE CORROSION AS THE MAIN DEGRADATION PROCESS OF PIPELINE STEEL 17GS AFTER 50 YEARS OF OPERATION



Жуков Дмитрий Владимирович^{1,2}
Чаплыгин Константин Константинович¹
Коновалов Сергей Валерьевич¹, д.т.н.
Воронин Сергей Васильевич¹, к.т.н.

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 34, ул. Московское Шоссе, г. Самара, 443086, РФ
²ООО «Газпром трансгаз Самара», 106А, ул. Ново-Садовая, г. Самара, 443068, РФ



Исследована структура и проведена оценка физико-механических свойств стали 17ГС, вырезанной из участка магистрального газопровода, находившегося в эксплуатации более 50 лет под рабочим давлением 5.5 МПа. Труба эксплуатировалась на штатных параметрах, на прямолинейном участке с песчаной засыпкой. Выполнены металлографические исследования, включавшие оптическую и электронно-сканирующую микроскопию для анализа изменений в кристаллической структуре металла. Проведены механические испытания на ударную вязкость и статическое растяжение с целью определения изменений физико-механических свойств, выполнено сравнение полученных данных с состоянием поставки по сертификату производителя, современными действующими требованиями стандартов и отраслевыми требованиями для труб, подлежащих повторному применению. Выявлено, что значения основных механических свойств стали практически не изменились по сравнению с указанными в сертификате, структурных изменений в металле так же не обнаружено. Основным деградационным процессом в рассматриваемом образце является подповерхностная коррозия незначительной глубины, не превышающей 100 мкм. Результаты исследований показывают, что при условиях возникновения в трубах максимальных напряжений, не превышающих предел макроупругости, развитие изменения структуры и изменение механических свойств, происходящие в течении 50 лет, незначительны.

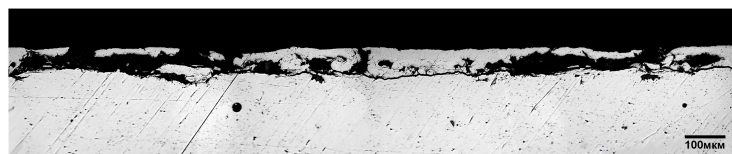


Рисунок 1 – Оптическая микроскопия поверхности металла трубы с внешней стороны стенки трубы до травления.

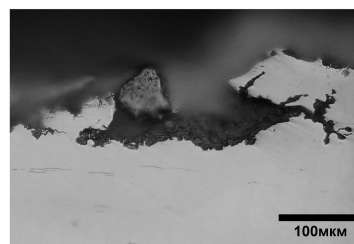


Рисунок 2 – Образование каверн с подповерхностным распространением трещин.

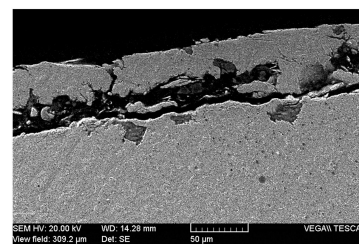


Рисунок 3 – Электронно-оптическая микроскопия подповерхностного отслоения.

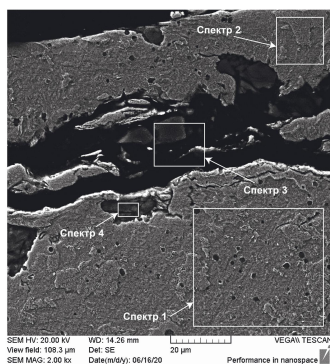
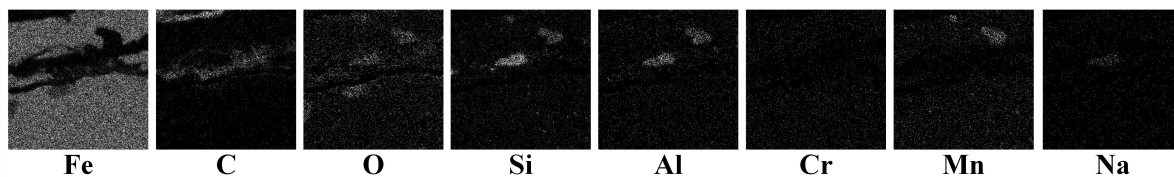


Рисунок 4 – Электронно-оптическая микроскопия подповерхностного отслоения.



Разделяющий слой загрязнен углеродом, попавшим при диффузионных процессах из изоляционных материалов и окружающей органики. Отмечается наличие солей натрия и кальция, являющихся составными частями грунтовых вод. Зафиксировано наличие оксидов железа, кремния и алюминия. Элементный состав анализируемых участков приведен в Таблице 1. По выполненному картированию исследуемого участка (рис. 4), которого видно, что во внешнем отслаивающемся слое присутствуют локальные участки с повышенным содержанием марганца и алюминия. Углерод распространяется по всей протяженности коррозионного отслоения между внешним отслоением и основным металлом. Также отмечены следы растрескивания и развития коррозии вглубь основного металла, однако повреждения не превышают 50 мкм. Уходящие от отслоения дефекты лежат в пределах до 25 мкм и представлены небольшими разнонаправленными растрескиваниями и коррозионными язвами.

Таблица 1 – Элементный состав участков

Элемент	Номер спектра			
	1	2	3	4
C	0.17	0.16	50.78	11.32
O	2.47	–	28.09	34.49
Na	–	–	1.44	–
Al	–	–	2.32	0.64
Si	0.85	0.84	4.85	0.83
S	–	0.04	–	–
Ca	–	–	0.71	–
Cr	–	0.59	–	0.51
Mn	1.25	1.56	–	0.54
Fe	95.26	96.81	11.81	51.67

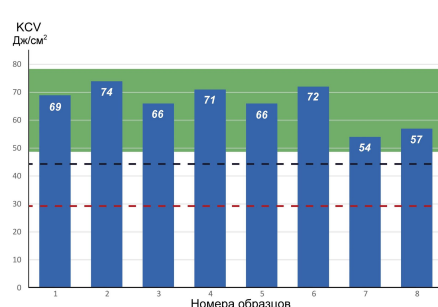


Рисунок 5 – Сводные результаты испытаний на ударную вязкость

Таблица 2 – Результаты испытаний металла труб на статическое растяжение

Измеряемый параметр	Требования нормативных документов			Результаты натурных испытаний (среднее)
	Сертификат (ЧМТУ 1025-63)	ГОСТ 19281-2014*	СТО Газпром 2-2.3-1178-2019*	
Предел прочности основного металла, МПа	540...610	450	510	571
Предел текучести основного металла, МПа	390...450	325	350	407
относительное удлинение OM, %	22...27	21	20	25,4

* не менее

Проведенные комплексные исследования металла трубы газопровода из стали 17ГС диаметром 530 мм, толщиной стенки 7.5 мм, после 50-ти лет эксплуатации при внутреннем давлении до 5.5 МПа показали, что в условиях правильной эксплуатации, обеспечивающей неизменное проектное положение и защиту от коррозии, механические свойства труб практически не изменяются и сохраняются в пределах заводских параметров. При сравнительном анализе механических свойств трубной стали с требованиями действующих нормативных документов, выявлено, что структура металла и его механические свойства удовлетворяют всем действующим требованиям. Обнаружено, что основная деградация труб происходит по схеме подповерхностной коррозии, однако глубина повреждений, накопленная за 50 лет эксплуатации, не превышает 100 мкм.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу ООО НИПП «Вальма» за профессиональную подготовку образцов и предоставленное оборудование для проведения испытаний, а также коллективу ЛЭС Ульяновского ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Самара» за предоставленные материалы.

XIII Ежегодное заседание Совета РАН по физике конденсированного состояния.

Научный центр РАН в Черноголовке.
23-27 ноября 2020 г.

Литература

- Великин И.И., Великин Э.И., Анисков Б.Д., Физиков А.А. // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. №9. с. 96–102.
- Panagiotopoulos C.N., Georgiou E., Giannakopoulos K.I., Orfanos P.G. // Metals 8(8), 578 (2018) [Doi:10.3390/met8080578](https://doi.org/10.3390/met8080578).
- Карпов С.В., Ширяков Д.И., Алехашкин А.С. // Вестн газовой науки. 2016. №3 с. 143–153.
- Афанасьев А.В., Мельников А.А., Коновалов С.В., Васков М.И. // International Journal of Corrosion. 1258379 (2018). [Doi:10.1155/2018/1258379](https://doi.org/10.1155/2018/1258379).
- Афанасьев А.В., Мельников А.А., Савин Д.В., Жуков Д.В., Васков М.И. // Ползуновский вестник. 2018. №4 с. 170–175. [Doi:10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.034](https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.034).
- Арабаев А.Б., Мельников О.И., Рыжовских И.В., Богданов Р.И., Абрамзон П.В., Штайнер М., Марочкин В. // Вестн газовой науки. 2016. №3. с. 4–11.
- Zhuo D., Kononov S., Afanasyev A. // Engineering Failure Analysis. 2020. 109. 104359. [Doi:10.1016/j.engfailanal.2019.104359](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104359).
- Nykyforchyn H., Lunarska E., Tsybulnyk O., Nikiforov K., Gabutia G. // Materials and Corrosion. 2009. №9 pp. 716 – 725. [Doi:10.1002/maco.200805158](https://doi.org/10.1002/maco.200805158).
- Panin S.V., Ulasov I.V., Maruschak P.O., Eremov A.V., Berto F., Syromyatnikova A.S., Vinogradov A. // Engineering Failure Analysis. 2019. 102 pp.87–101. [Doi:10.1016/j.engfailanal.2019.04.036](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.04.036).
- Panin S.V., Maruschak P.O., Ulasov I.V., Syromyatnikova A.S., Bolshakov A.M., Berto F., Prentkowsky O., Ovechkin B.B. // Procedia Engineering. 2017. 178. pp. 597–603. [Doi:10.1016/j.proeng.2017.01.117](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.117).
- Лаврова Е.А., Мотовилова Г.Д., Хусова Е.И. // Вопросы материаловедения. 2019. №2(98). с. 11–19. [Doi:10.22349/1994-6716-2019-98-2-11-19](https://doi.org/10.22349/1994-6716-2019-98-2-11-19).
- Зарков Р.Ф., Коробков Г.Е. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. №2(124). с. 52–61. [Doi:10.17122/nft-oil-2020-2-52-61](https://doi.org/10.17122/nft-oil-2020-2-52-61).
- Ustuyuk A., Mroz Z., Kowalewski Z.L., Kucharski S. // International Journal of Fatigue. 2020. 131, 105342. [Doi:10.1016/j.ijfatigue.2019.105342](https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105342).
- Нохрин А.В., Чудовиков В.Н. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. №5(2). с. 171–180.
- Tian Q., Luo H., Yi R., Fan X., Ma E., Shi D., Gao J. // Materials Science and Engineering: A. 2020. 771, 138645. [Doi:10.1016/j.msea.2019.138645](https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138645).