

Особенности разрушения трубопроводов под влиянием стресс-коррозионных повреждений и их оценка в процессе технического диагностирования при проведении экспертизы промышленной безопасности
Акбашев Р. М.¹, Ткаченко Д. А.², Курдюмов Н. И.³

¹Акбашев Раниф Мунавирович / Akbashev Raniph Munavirovich – эксперт,
ООО «ТЕНЗОР»;

²Ткаченко Дмитрий Анатольевич / Tkachenko Dmitry Anatolyevich – эксперт;

³Курдюмов Николай Иванович / Kurdyumov Nicolay Ivanovich – эксперт,
ООО «ТЕХИННОВАЦИЯ», г. Москва

Аннотация: на основе опыта, полученного, в основном, при расследовании аварий трубопроводов, установлены основные закономерности возникновения очагов коррозионного растрескивания металла трубопроводов, описаны факторы, влияющие на разрушение, и сделаны выводы, важные для диагностики технического состояния трубопроводов при промышленной экспертизе их технического состояния.

Ключевые слова: трубопроводы, стресс-коррозия, промышленная экспертиза.

Эксперты Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору ежегодно обращают внимание на повышенный риск разрушения трубопроводов за счет процессов стресс-коррозии [1].

Коррозионные дефекты провоцируются разрушением пленочного изоляционного покрытия, которое весьма часто происходит уже после десятилетней эксплуатации [2]. Другой фактор, способствующий развитию дефектов – подвижка грунтов, имеющая место в межсезонный период. За счет сопутствующих подвижке грунтов дополнительных механических напряжений происходит трещинообразование как в зоне сварных швов, так и по основному металлу [3, 4].

Многолетний опыт, накопленный при эксплуатации трубопроводов, показывает, что на одном из первых мест по степени опасности находятся дефекты по механизму коррозионного растрескивания под напряжением (стресс-коррозии) [5, 6].

На основе имеющихся многочисленных данных, полученных, преимущественно, при расследовании аварийного разрушения трубопроводов [7,10-12], целесообразно систематизировать факторы, на которые следует обращать внимание при промышленной экспертизе объектов с опасностью разрушения по механизму стресс-коррозии.

Общая характеристика [1, 7, 13]

Стресс-коррозия – один из видов коррозионной повреждаемости, характерной для углеродистых низколегированных и легированных сталей. Стресс-коррозия возникает при воздействии коррозионно-активной среды в комбинации с механическими напряжениями. Под действием двух этих факторов развиваются либо одиночные трещины, либо их колонии. Обычные признаки, сопутствующие пластической деформации, а также следы общей коррозии, здесь, как правило, отсутствуют.

Зоны поражения [7-8, 14]

- 1) Стресс-коррозия обычно возникает со стороны внешней поверхности трубы, в ее нижней части.
- 2) Колонии трещин параллельны оси трубы и имеют длину от 5 до 35 мм, а их глубина может составлять до 50 % от толщины стенки трубы.
- 3) Коррозионные трещины, визуально воспринимаемые как «длинные», на самом деле представляют собой совокупность нескольких коротких, близко расположенных трещин (рис. 1).
- 4) Развитие стресс-коррозионного повреждения происходит при обязательном воздействии на металл трубы грунтового электролита, попадающего через негерметичное защитное покрытие. Разгерметизация может возникать через малозаметный прокол, возможно поступление грунтового электролита по зоне склейки пленки, а также за счет неровностей сварного шва или по канавке, возникшей при прокатке исходного листа металла трубы.
- 5) При воздействии на стенки трубы дополнительных внешних напряжений, например, за счет транспорта, проезжающего над трубопроводом, ориентация и положение стресс-коррозионного повреждения может изменяться.
- 6) Деформация трубопровода под воздействием подвижек грунта провоцирует появление «кольцевых» коррозионных трещин. Трещины стресс-коррозионного происхождения с кольцевым направлением могут возникать и под действием остаточных напряжений.
- 7) Стресс-коррозионные трещины на начальном этапе развития распространяются в плоскости, перпендикулярной к поверхности стенки трубы.
- 8) Первоначальные коррозионные трещины остаются очаговыми вплоть до разрушения под действием давления и напряжений в вершинах практически всех первоначальных трещин.
- 9) Катастрофическое разрушение трубы (долом) происходит после достижения пределом прочности металла под первоначальными трещинами критической величины.

10) Магистральная трещина образуется путем объединения параллельных друг другу и близко расположенных относительно общей плоскости коррозионных трещин, остальные коррозионные трещины при этом не развиваются.

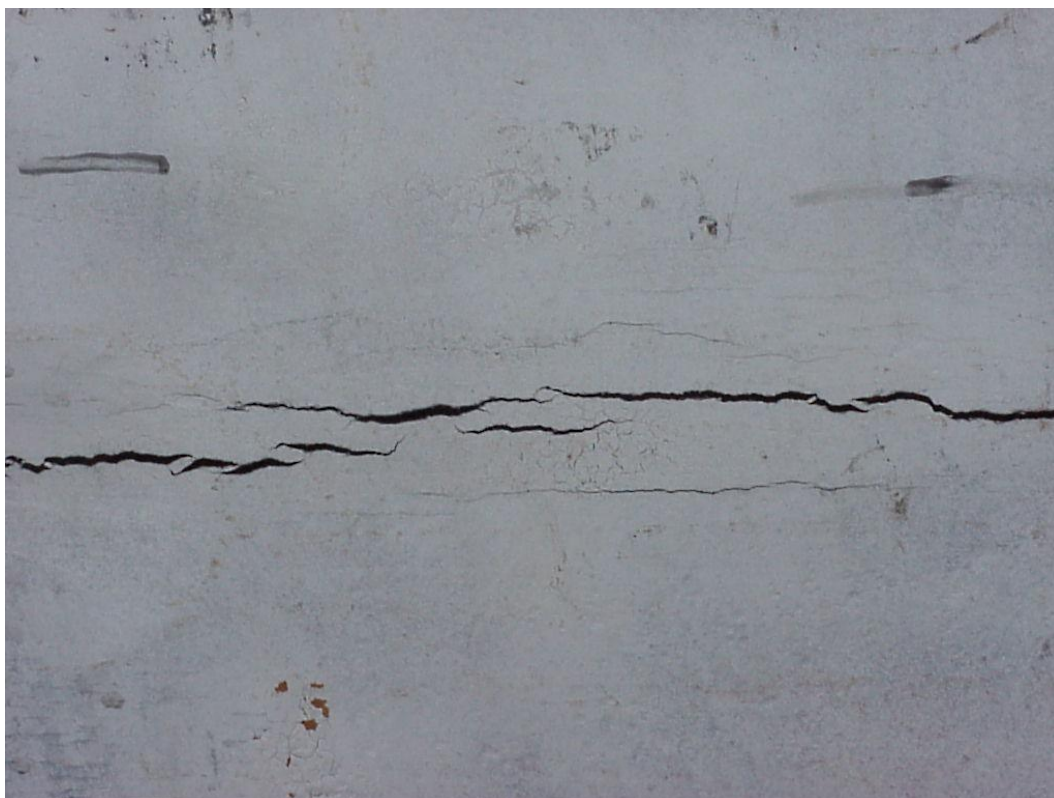


Рис. 1. Участок со стресс-коррозионными трещинами

Динамика развития трещин и последующего разрушения [9,15-16]

11) В процессе всей эксплуатации трубопровода наблюдается прогрессирующая повреждаемость стенки трубы. При этом одна часть трещин растет и объединяется, а другая – зарождается на концентраторах напряжений.

12) Процесс возникновения и развития трещин стресс–коррозионного происхождения продолжается до образования магистральной трещины, приводящей к аварийному разрыву трубы.

13) При небольшой длине стресс-коррозионной зоны, порядка 200 мм, слияние первоначальных трещин в одну и ее раскрытие приводят к образованию свища.

14) Процесс развития стресс-коррозионной трещины может затухать при «исчерпании» зародышевых трещин и протекании только процесса объединения первоначальных трещин. Такое состояние неустойчиво и при изменении нагрузки, например, под воздействием внутритрубного дефектоскопа, коррозионное растрескивание может возобновиться.

Характерные особенности коррозионного растрескивания [6-8, 14]:

1) Стресс-коррозионные трещины возникают при обязательном воздействии коррозионно-активной среды, преимущественно в зонах неоднородностей металла, в виде неметаллических включений и механических повреждений. Вместе с тем, наблюдается развитие стресс-коррозионных поражений и при отсутствии дополнительных повреждений и механических напряжений, только под влиянием рабочего давления и коррозионно-активной среды.

2) При провоцировании коррозионных трещин поверхностными концентраторами напряжений, геометрия и расположение трещин повторяют соответствующие параметры концентраторов напряжений.

3) Стресс-коррозионные трещины, развившиеся в зоне неметаллических включений, имеют вид скоплений.

4) Стресс-коррозионные трещины, развившиеся в зоне действия концентраторов механического происхождения, бывают одиночными и соответствуют геометрическим параметрам и направлению концентратора.

5) Ориентация зоны стресс-коррозионного растрескивания в поперечном направлении или кольцевая ориентация трещин свидетельствуют о деформации трубы, например, за счет подвижки или вымывания грунта.

6) При распространении трещин стресс-коррозионного происхождения деформации металла не происходит, или она имеет весьма малую величину.

7) При средней скорости развития стресс-коррозионных трещин около 1 мм/год, скорость развития отдельных первоначальных трещин при номинальных напряжениях в стенке трубы может отличаться на величину до 30 %.

Для объективной оценки степени опасности стресс-коррозионного повреждения рекомендуется фиксировать следующие данные:

1) Данные о почве — состав, pH, влажность, удельное электрическое сопротивление, воздухопроницаемость.

2) Фактическое давление газа в трубе на данном участке.

3) Толщина стенки трубы.

4) Фирма изготовитель трубы, ТУ на изготовление и поставку, № трубы.

5) Сведения о расположении сварных швов.

6) Схема расположения дефектов (по дефектограмме).

Анализ аварийных отказов [5-8, 10, 12, 14, 17] показывает:

1) Наибольший риск разрушения трубопроводов из-за стресс-коррозионных поражений имеет место при наработках газопроводов от 11 до 16 лет.

2) Предельная глубина критических трещин стресс-коррозионного повреждения составляет 70 % толщины Т стенки трубы.

3) В основном глубина критических трещин стресс-коррозионного повреждения составляет 50-60 % от величины Т.

4) Средняя скорость коррозионного повреждения при наработке более 20 лет составляет от 0,5 до 0,9 мм/год, а при разрушении с наработкой порядка 7-11 лет скорость коррозии возрастает до 1,3-1,5 мм/год.

Проведенный анализ позволяет с большей достоверностью определить участки трубопроводов, подверженные процессу стресс-коррозионного повреждения, и оценить риск их разрушения.

Литература

1. Антонов В. Г., Кантор М. М. О механизме разрушений магистральных газопроводов вследствие коррозионного растрескивания под напряжением трубных сталей // Докл. семинара «Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей. Проблемы. Решения». 14—15 ноября 1995 г. Ухта, 1996. С. 33—37.
2. Лисин В. Н., Спиридович Е. А. Влияние реальных эксплуатационных факторов на развитие коррозионного растрескивания под напряжением трубных сталей. Проблемы. Решения. [Мат-лы семинара] / Под ред. В. Н. Лисина. Ухта, 1966. С. 24—32.
3. Гринвуд Дж. Х. Контроль за напряжениями в трубопроводе, вызываемыми смещениями грунта. — Нефть, газ и нефтехимия за рубежом, № 4, 1986. С. 48.
4. Харионовский В. В. Оценка долговечности участка газопровода в пучинистых грунтах. Обзорная информация. Серия: «Транспорт и хранение газа». «ВНИИГАЗ», 1986. — 72 с.
5. Канайкин В. А. Общие и стресс-коррозионные повреждения, выявляемые внутритрубой дефектоскопией на магистральных газопроводах. — Екатеринбург; «Банк культурной информации», 2004. — 368 с.
6. Козловский А. Н., Ахтимиров Н. Д. Разрушения газопроводов по причине коррозионного растрескивания под напряжением по предприятию «Севергазпром» // Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей. Проблемы. Решения. [Мат-лы семинара] / Под ред. В. Н. Лисина. Ухта, 1966. С. 13—24.
7. Алимов С. В., Долгов И. А., Горчаков В. А., Сурков А. Ю., Сурков Ю. П., Рыбалко В. Г. Диагностика коррозионного растрескивания газопроводов. Атлас. — Екатеринбург. — ИФМ УрО РАН. — 2004. — 84 с.
8. Матвиенко А. Ф., Балдин А. В., Григорьев П. А. и др. Коррозионное растрескивание под напряжением сталей магистральных газопроводов. I. Аварийные разрушения // ФММ. 1998. Т. 86, вып. 2. С. 139—146.
9. Матвиенко А. Ф., Сагарадзе В. В., Филиппов Ю. И. и др. Коррозионное растрескивание под напряжением сталей магистральных газопроводов. II. О взаимосвязи механических свойств и сопротивления КРН // ФММ. 1998. Т. 86, вып. 2. С. 147—155.
10. Матвиенко А. Ф., Филиппов Ю. И., Сагарадзе В. В. и др. Коррозионное растрескивание под напряжением сталей магистральных газопроводов. III. Особенности повреждения труб в околошовной зоне // ФММ. 2000. Т. 90, вып. 3. С. 104—112.
11. Окончательный отчет исследования трубопровода № 100-1 компании «TennesseeGasTransmission». Авария около Natchiockes, I. а. 4 марта 1965; Docket No CP 65-267, Federal Power Commission, Bureau of Natural Gas, Washington D. C. 12 августа 1965.
12. Сурков Ю. П., Хороших А. В., Рыбалко В. Г. Изучение случаев коррозионного растрескивания действующих газопроводов // Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей. Проблемы. Решения. [Мат-лы семинара] / Под ред. В. Н. Лисина. Ухта, 1966. С. 57—63.
13. Логин Х. Л. Коррозия под напряжением. М.: Металлургия, 1970. — 340 с.
14. Сергеева Т. К. Разновидности стресс-коррозии на магистральных газопроводах // Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей. Проблемы. Решения. [Мат-лы семинара] / Под ред. В. Н. Лисина. Ухта, 1966. С. 117—127.

15. *Мирошниченко Б. И., Канайкин В. А., Варламов Д. П.* Многофакторная система развития стресс-коррозии в магистральных газопроводах. — Екатеринбург, «Банк культурной информации», 2005. — 80 с.
16. *Петров Н. А.* Концепция и технические решения коррозионного мониторинга применительно к коррозионному растрескиванию под напряжением магистральных газопроводов // Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей. Проблемы. Решения. [Мат-лы семинара] / Под ред. В. Н. Лисина. Ухта, 1966. С. 76—83.
17. *Сурков Ю. П., Соколова О. М., Рыбалко В. Г., Малкова Л. Ф.* Диагностика промышленных разрушений. Анализ причин разрушений и механизмов повреждаемости магистрального газопровода из стали 17ГС // ФММ. 1989. № 5. С. 95—97.