

## **Stress-corrosion cracking of gas pipelines: the reasons of appearance and factors**

Nyrkova L.I., Prokopchuk S. N., Lisovoy P.E.

*E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of  
Ukraine, Kyiv*

The article provides a brief overview of the reasons and the factors resulting in one of the most dangerous types of damages to main pipelines - stress corrosion cracking (SCC). It is noted that the SCC is due to the presence of a complex of several factors at the same time on the region, among which are: a corrosive-active medium with specific corrosive properties; stress-strain state of the pipeline; passive and active protection. It is noted that despite the similarity of the external appearance of SCC on the surface of pipes, two types of SCC has been recognizing: SCC at high pH, which is carrying on intergranular mechanism, and SCC at near neutral pH, which characterizing by transgranular failure. It was emphasized that in order to provide undangerous working life of gas pipelines, it is necessary to analyze all complex of factors contributing to the occurrence of SCC extremely full, during design and, especially, during operation.

Key words: gas pipeline, stress-corrosion cracking, near-neutral pH SCC, high pH SCC

## **Стресс-коррозионное растрескивание магистральных газопроводов: причины возникновения и факторы**

Ныркова Л.И., Прокопчук С.Н., Лисовой П.Э.

*Институт электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины  
Киев, ул. К. Малевича, 11, 03150*

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) подземных магистральных газопроводов (МГ) относится к числу наиболее актуальных проблем их эксплуатации [1, 2]. Анализ причин отказов и результатов диагностических обследований участков МГ показали, что стресс-коррозионному растрескиванию подвержены газопроводы, пролегающие в

различных природно-климатических районах, сооруженные из труб разного производства, отличающиеся по конструкции и размерам [3]. Доля коррозионных дефектов на внутренней поверхности не превышает 6% от доли коррозионных дефектов, которые выявляются на внешней катодно-защищаемой поверхности, 31,7% из которых составляют коррозионные язвы и питтинги, 68,3% - стресс-коррозионные трещины [4].

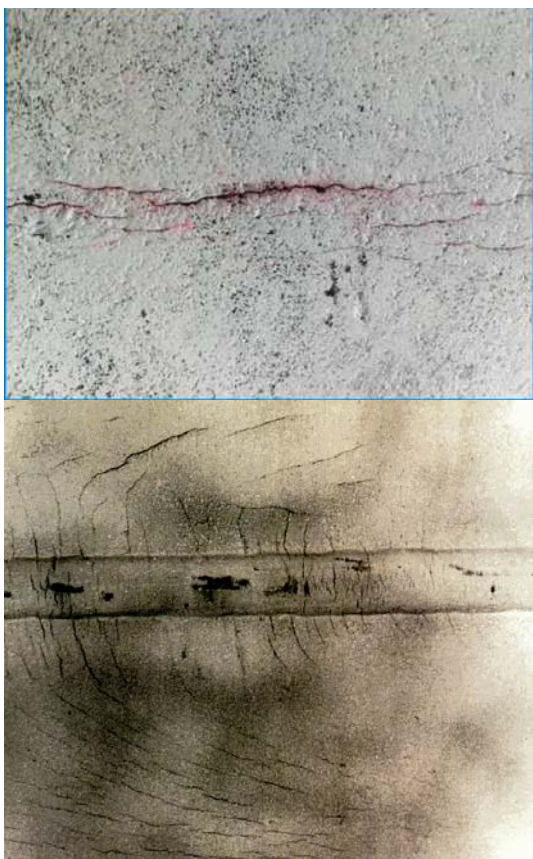
С начала 1990-х годов по настоящее время отмечается негативная тенденция увеличения доли аварий, вызванных стресс-коррозионным растрескиванием, от 25 до 60 % [3]. За последние годы случаи стресс-коррозионного растрескивания зарегистрированы в США, Австралии, Канаде [5-6], России [7], Украине.

Несмотря на то, что большое количество работ посвящено изучению КРН магистральных газопроводов, проблема предупреждения такого вида разрушения по-прежнему остается *актуальной*. Это связано с тем, что большинство из них эксплуатируется в течение длительного времени в условиях воздействия нагрузок при совместном влиянии коррозионно-активных сред и катодной защиты.

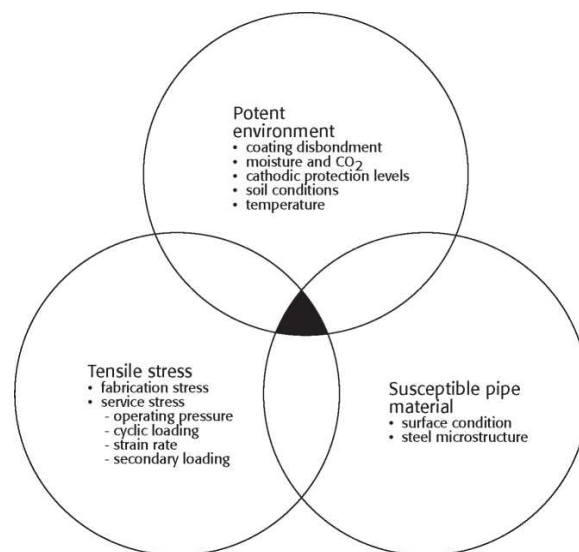
**Понятие КРН.** Коррозионное растрескивание металла труб под напряжением, или стресс-коррозия, представляет собой особый вид разрушений, проявляющийся в виде образования на внешней поверхности колонии трещин в горизонтальном направлении, развивающиеся во времени и приводящие, в конечном итоге, к разрыву трубы, рис. 1 [1]. Опасность стресс-коррозионных дефектов характеризуется непредсказуемостью возникновения и внезапностью наступления аварийной ситуации.

Возникновение КРН, как правило, обусловлено присутствием на участке одновременно нескольких факторов [6, 8], к числу которых относятся:

- наличие околотрубной среды, обладающей специфическими коррозионными свойствами;



**Рис. 1.** Стресс-коррозионные повреждения металла [4]



**Рис. 2.** Факторы стресс-коррозионного растрескивания [6]

- материал труб, склонный к коррозионному растрескиванию в условиях длительного взаимодействия с околотрубной средой (металлургические и особенности материала, технология производства и параметры качества стали, состав, загрязненность неметаллическими включениями, структурные характеристики деформационная микроструктура, которые определяют чувствительность металла труб к растрескиванию;

- напряженно-деформированное состояние трубы, обусловленное особенностями режимов эксплуатации газопровода (давление, циклические нагрузки и т.д.), технологического передела в цепочке производства труб (зоны концентрации напряжений в местах отклонения геометрии от теоретической окружности, остаточные напряжения и деформации, особые свойства поверхностных слоев металла). Этот фактор рассматривают как контролирующей кинетику растрескивания.

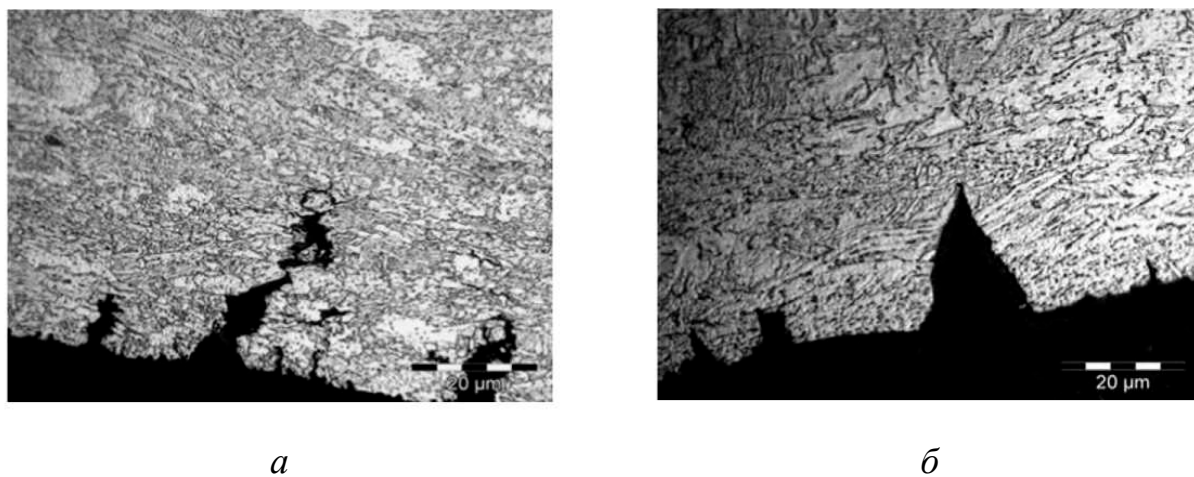
**Стадии процесса.** Процесс КРН протекает в несколько стадий. *Первая стадия* – инкубационный период, в течение которого в металле труб происходят существенные изменения: рост внутренних напряжений, структурные изменения в кристаллах, образование зародышевых дефектов, сопровождающееся возникновением микротрещин. *Вторая стадия* – зарождение микротрещин, их рост и объединение в макротрещины. Этому способствуют напряжения, вызванные рабочим давлением и эксплуатационными факторами. Одна из составляющих таких факторов – влияние грунта, что особенно существенно проявляется на участках со сложным рельефом. *Третья стадия* – рост макротрещин до критической величины, по достижении которой происходит механическое разрушение (долом) трубопровода. До завершения первой стадии не могут происходить остальные стадии.

**Типы КРН.** В настоящее время различают два типа КРН магистральных трубопроводов: при высоком значении рН (более 9) и при рН, близких к нейтральным (7,5-8,2) [9-17]. Первыми были зарегистрированы случаи так называемого «классического» КРН, вызванного присутствием карбонат-бикарбонат ионов, или КРН при высоких рН [9-12]. Благодаря интенсивным исследованиям, механизм этого вида КРН трубных сталей изучен достаточно хорошо. В настоящее время считается, что преобладающим механизмом развития КРН магистральных газопроводов в грунтовых электролитах с высоким рН является локальное анодное растворение металла.

Второй, «неклассический», вид КРН зарегистрирован при авариях магистральных газопроводов сравнительно недавно, последние 10-15 лет [13-17]. Большинство исследователей сходятся во мнении, что КРН в средах с рН, близких к нейтральным, обусловлено синергетическим действием механической нагрузки, наводороживания и локального растворения металла. Указанные факторы оказывают на КРН взаимосвязанное воздействие, и многие авторы считают, что нельзя однозначно выделить доминирующий фактор роста трещины. Однако некоторые исследователи все же полагают, что в

растрескивании трубной стали в электролитах, близких к нейтральным существенную роль играет водород [18-19]. По мнению других исследователей, основное влияние на рост трещины в трубной стали в слабокислых и нейтральных электролитах оказывает локальное анодное растворение металла [20-22]. При этом ученые полностью не исключают влияния на КРН при рН, близких к нейтральным, атомарного водорода, который в зависимости от потенциала металла, рН раствора и его ионного состава может замедлять или ускорять растворение металла.

Случаи «классического» КРН при высоких рН зафиксированы в США, Австралии, Иране, Аргентине, Саудовской Аравии [6]. В странах бывшего СССР «классический» тип растрескивания наблюдался на МГ, проложенных в пустынных и полупустынных районах Средней Азии и Казахстана [3]. Второй тип КРН трубных сталей в средах с рН, близких к нейтральным отмечался в Канаде, Италии, Западной Сибири, Урала и северных областей европейской части России.



**Рис. 2.** Вид стресс-коррозионных трещин при высоких рН (а) и рН, близких к нейтральным (б)

Внешний признак обоих типов КРН – группы или колонии трещин вблизи очагов разрушений, ориентированных, преимущественно, вдоль оси трубы. Однако, при классическом КРН развитие трещин протекает межкристаллитно, рис. 2, а, а при неклассическом, определяемом диффузией водорода в стенку

трубопровода и возникновением огромных (в сотни мегапаскалей) разрушающих давлений, транскристаллитно, рис. 2, б.

Трещина, развиваясь в ширину и глубину может привести к разрушению газопровода. Кинетика классического КРН определяется, в значительной степени, условиями пассивации, обусловленными спецификой образования защитных коррозионных пленок.

В трещине, заполненной электролитом, создаются оптимальные условия для возникновения гальванопары, при этом дно выступает в роли анода, а берега являются катодом. В процессе коррозии на анодном участке образуется тонкая защитная оксидная пленка. Если пленка сохраняет целостность, то она является барьером для воздействия окружающей среды и стресс-коррозия не развивается. Однако пленка является хрупкой и при пластической деформации разрушается, что дает возможность развития стресс-коррозии. Следовательно, скорость пластической деформации, т.е. величина напряженно-деформированного состояния является главным условием развития данного вида КРН.

### **Выводы**

Коррозионное растрескивание под напряжением особый вид разрушений, проявляющийся в виде поверхностных трещин, инициируемых в условиях применения защитного покрытия и катодной защиты при одновременном длительном воздействии специфического коррозионно-активной среды и механических растягивающих напряжений. Опасность этого вида разрушений обусловлена непредсказуемостью возникновения и внезапностью развития аварийной ситуации. Для обеспечения надежной эксплуатации магистральных газопроводов необходимо максимально полно анализировать комплекс факторов, способствующих возникновению КРН, при проектировании и, особенно, при эксплуатации.

## Литература

- [1] В. Г. Антонов, А. Г. Арабей, В. Н. Воронин, И. А. Долгов, М. М. Кантор, Кношински, Ю. П. Сурков. Коррозионное растрескивание под напряжением труб магистральных газопроводов. – 2006, 105 с.
- [2] Y. Frank Cheng Stress Corrosion Cracking of Pipelines. – Hoboken: John Willey&Sons Publishing. – 2013, 257 P.
- [3] Т.К. Сергеева, Е.П. Турковская, Н.П. Михайлов и др. Состояние проблемы стресс- коррозии в странах СНГ и за рубежом. – 1998, 98 с.
- [4] Хижняков В.И. Развитие научных основ, разработка и реализация новых критериев эффективности электрохимической защиты трубопроводов от коррозии. Дисс. докт. техн. наук. – 2010.
- [5] Baker M. Stress corrosion cracking study: final report OPS TТO8. Integrity Management Program. – 2005.
- [6] Public Inquiry Concerning Stress Corrosion Cracking on Canadian Oil and Gas Pipelines. Report of NEB. – 1996.
- [7] Ю.Г. Лапынин, С.Н. Савеня, А.А. Савеня. Альманах Волгоградского отделения международной академии авторов научных открытий и изобретений, Волгоградское изд. Госуниверситета. – 2007, С. 180-185.
- [8] С.А. Сильвестров, А.К. Гумеров. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – № 3 (113), с. 95-113.
- [9] A. Egbewande, W. Chen, R. Eadie, R. Kania, G. Van Boven, R. Worthingham, J. Been. Corrosion Science. – 2014, v. 83, p. 343-354.
- [10] Song F.M. Corrosion Science. – 2009, v. 51, p. 2563-2657.
- [11] Wang Q. Corrosion Science. – 2010, v. 52, p. 4064-4072.
- [13] W. Chen, S.-H. Wang, F. King, T. R. Jack, R. R. Fessler. Corrosion. – 2004, v. 60, № 3, p. 275–283.
- [14] R. N. Parkins, W. K. Blanchard, B. S. Delanty // Corrosion. – 1994, v. 50, p. 394–408.
- [15] Arafin M.A., Szpunar J.A. Corrosion Science. – 2009, v. 51, p. 119-128.
- [16] Zang C., Cheng Y.F. Journal of Materials Engineering and Performance. – 2010, v.19, № 9, p.1284-1289.
- [17] Parkins R.N. Corrosion. – 1987, v. 43, № 5, p. 130.
- [18] Lu B.T. Acta Materialia. – 2009, v. 57, p. 41-49.
- [19] Мазель, А. Г. Строительство трубопроводов. – 1992, № 9, с. 23–26.
- [20] A.I. Marshakov, V.E. Ignatenko, R.I. Bogdanov, A.B.Arabey. Corrosion Science. – 2014, v. 83, p. 209-216.
- [21] Р.И. Богданов, А.И. Маршаков, Э. Игнатенко. Коррозия: материалы, защита. – 2011, № 11, с. 30-38.
- [22] А.Б. Арабей, Р.И. Богданов, В.Э. Игнатенко и др. Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2011, т. 47, № 2, с. 208-217.