



## ПРИЧИНЫ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ МОНТАЖНОГО КОЛЬЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

А. А. РЫБАКОВ<sup>1</sup>, Л. В. ГОНЧАРЕНКО<sup>1</sup>, Т. Н. ФИЛИПЧУК<sup>1</sup>, И. В. ЛОХМАН<sup>2</sup>, И. З. БУРАК<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup> ПАТ «Укртрансгаз». 01021, г. Киев, Кловский спуск, 9/1. E-mail: press@utg.ua

Рассмотрены некоторые вопросы стресс-коррозионного разрушения металла труб эксплуатируемых магистральных газопроводов. Показано, что, помимо традиционной ориентации СКР-трещин в продольном направлении, дефекты такого типа могут развиваться в поперечном направлении относительно оси газопровода. Выявленные поперечные СКР-трещины, в том числе пересекающие всю толщину стенки трубы, образовались в зоне кольцевого шва, соединяющего трубы диаметром 1420 мм класса прочности К60. Дефектная зона протяженностью около 800 мм располагалась по обе стороны шва и распространялась на ширину примерно 60 мм от линии сплавления. Поверхность разрушения в зоне дефектов имела специфический ступенчатый характер в результате слияния более мелких полуэллиптических трещин, зародившихся в разных, смещенных относительно друг друга, плоскостях. Трещины, преимущественно, характеризуются закругленными вершинами, что свойственно стресс-коррозионным дефектам, образовавшимся вследствие анодного растворения металла. Разрушению кольцевого сварного соединения газопровода, кроме коррозионных факторов, в значительной мере способствовали дополнительные напряжения, присущие процессу сборки труб при выполнении «захлеста». Материалы статьи могут быть использованы при проведении диагностических работ на магистральных трубопроводах. Библиогр. 7, табл. 1, рис. 9.

*Ключевые слова:* стресс-коррозионное разрушение, магистральный газопровод, ориентация трещин, сварные трубы, класс прочности, кольцевое сварное соединение, причины образования

Стресс-коррозионное растрескивание (СКР) металла в настоящее время является одной из основных и наиболее частых причин разрушения магистральных трубопроводов. К повреждениям этого типа относят трещины, образующиеся на наружной поверхности трубопроводов в участках с нарушением изоляционного покрытия под действием коррозионно-активной среды и напряженно-деформационного фактора в условиях катодной поляризации.

Последствия разрушения газопроводов вследствие СКР (СКР-разрушение) достаточно внушительны. На рис. 1 в качестве примера показан котлован и разбросанные на 40...50 м фрагменты газопровода диаметром 820 мм после СКР-разрушения.

Основным внешним признаком, по которому определяют происхождение трещин вследствие СКР (СКР-трещины) является наличие на внешней поверхности труб колоний трещин, ориентированных, как правило, в продольном направлении. В работе [1] рассмотрены различные случаи стресс-коррозионных повреждений магистральных трубопроводов и подчеркивается преимущественное развитие СКР-трещин в продольном направлении, хотя и отмечается возможность искривления их ориентации из-за изгиба или про-

садки газопровода (рис. 2). СКР-трещины обнаруживаются как в основном металле, так и в зоне заводских сварных соединений трубопровода.



Рис. 1. Стресс-коррозионное разрушение магистрального газопровода диаметром 820 мм (а) и фрагменты разрушившихся труб (б)

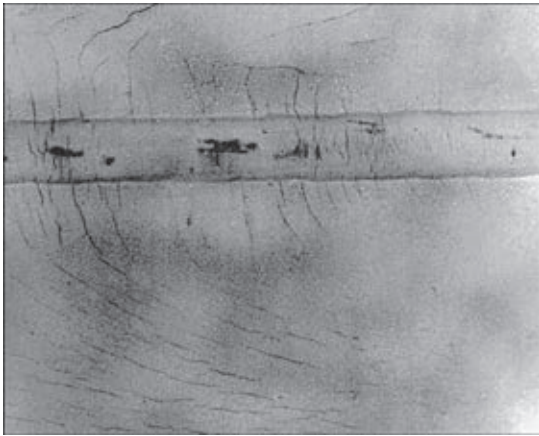


Рис. 2. Влияние распределения напряжения в металле трубы на характер расположения стресс-коррозионных трещин [1]

Чаще всего их выявляют в нижней половине сечения трубы, вблизи продольных швов, в том числе на границе сплавления.

Как известно, начальной стадией стресс-коррозионного поражения служит формирование коррозионных питингов, которые в дальнейшем трансформируются в полуэллиптические трещины [2–4]. По мере развития дефектов создаются условия для объединения (коалесценции) соседних, близко расположенных трещин, формирования магистральной трещины и последующего разрушения газопровода.

В соответствии с современными представлениями СКР может развиваться по двум механизмам: локального анодного растворения и водородного растрескивания [4–7]. При реализации первого механизма происходит локализация электрохимического процесса на поверхности металла и его интенсивное растворение в вершине трещины. Такие трещины обычно характеризуются более широким раскрытием, присутствием коррозионных отложений, а их вершине присуща затупленная форма (рис. 3, а). Во втором случае под действием

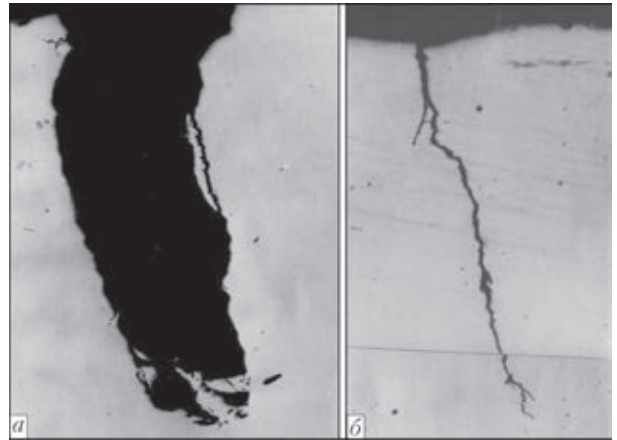


Рис. 3. Стресс-коррозионные трещины в металле газопроводной трубы, образовавшиеся вследствие анодного растворения (а,  $\times 20$ ) и водородного растрескивания (б,  $\times 100$ )

напряжений и коррозионной среды осуществляется диффузия водорода в кристаллическую решетку металла. Для трещин этого типа характерны более острая вершина, транскристаллитный характер развития и некоторое ветвление (рис. 3, б).

Несколько аварий газопроводов, обусловленных стресс-коррозионными дефектами, произошло и в Украине. На рис. 4 показан внешний вид и излом образцов с СКР-трещинами, вырезанных из трубы газопровода «Уренгой-Помары-Ужгород», разрушившейся в мае 2007 г. Аналогичные разрушения этого же газопровода зафиксированы в мае 2003 г. и в декабре 2007 г. Во всех описанных случаях СКР-трещины и разрушение газопровода также были ориентированы в продольном направлении.

В процессе эксплуатации магистрального газопровода «Прогресс» было обнаружено локальное истечение газа с его воспламенением. При шурфовании этого участка газопровода в зоне кольцевого сварного соединения выявлен ряд сквозных дефектов. Кольцевой шов в дефектном участ-

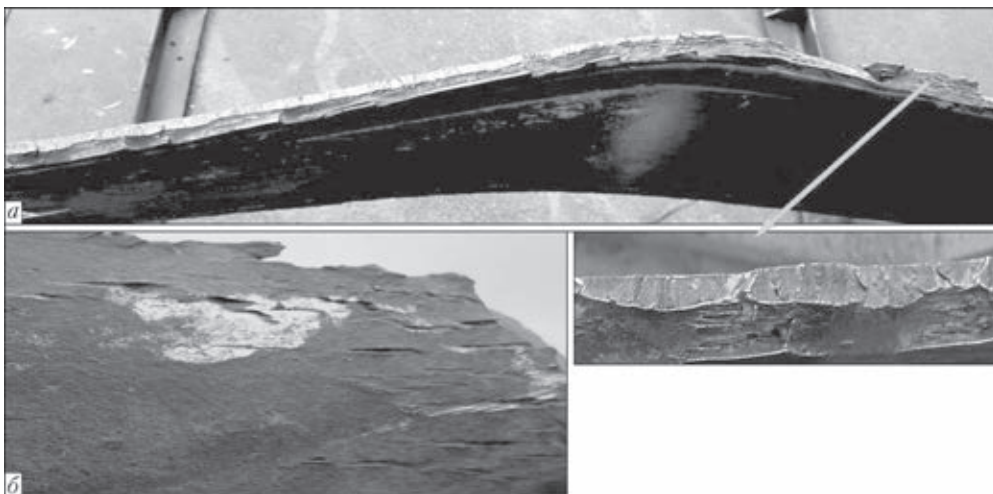


Рис. 4. Фрагменты разрушенного газопровода диаметром 1420 мм со стресс-коррозионными трещинами: а — излом образца с трещиной длиной 470 мм и глубиной 6,8 мм; б — колония продольных макротрещин в зоне разрушения на поверхности металла трубы

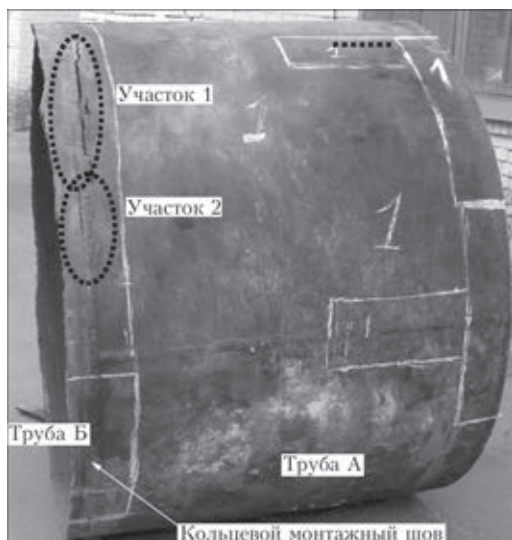


Рис. 5. Общий вид разрушенного монтажного кольцевого соединения и участки с максимальным скоплением трещин

ке выполнен «захлестом» и соединяет двухшовную трубу диаметром 1420 мм с толщиной стенки 15,7 мм класса прочности К60, изготовленную на Харцызском трубном заводе, и одношовную трубу того же диаметра с толщиной стенки 15,4 мм категории Х70 импортной поставки (рис. 5). Металл обеих труб имел близкий химический состав (таблица) и механические свойства. По этой причине можно полагать, что роль металлургического фактора в образовании данных СКР-трещин минимальна.

Трубопровод на аварийном участке был покрыт ленточной полимерной изоляцией, которая в месте расположения дефектов была повреждена.

Зона повреждения с трещиноподобными дефектами (сквозными и поверхностными трещинами) располагалась поперек оси трубы вдоль кольцевого сварного соединения на длине около 800 мм по обе стороны шва (рис. 6). Район расположения дефектного участка в кольцевом соединении на трассе соответствовал 5...7 ч условного циферблата. Ширина участка с трещинами, начиная от линии сплавления в сторону основного металла, составляла около 60 мм с каждой стороны шва.

На изломе сквозных трещин после их вскрытия можно четко видеть две различные зоны: зона образования дефектов со стороны наружной поверхности трубы и зона долома на ее внутренней стороне. На рис. 7, а, б показаны изломы сквозных трещин различных участков. Поверхность разрушения в зоне трещины имеет специфический ступенчатый характер, присущий дефекту, образовавшемуся в результате слияния более мелких полуэллиптических трещин, зародившихся в разных, смещенных относительно друг друга, плоскостях. На поверхности трещин наблюдаются коррозионные отложения. В зоне долома металл разрушается по вязкому механизму.

Наружная поверхность обеих труб вблизи кольцевого шва повреждена коррозионными, относительно неглубокими язвами и питтингами, что подтверждает информацию о повреждении изоляционного покрытия.

Как показали исследования макро- и микрошлифов, в металле поврежденной зоны обеих труб зафиксированы многочисленные трещины

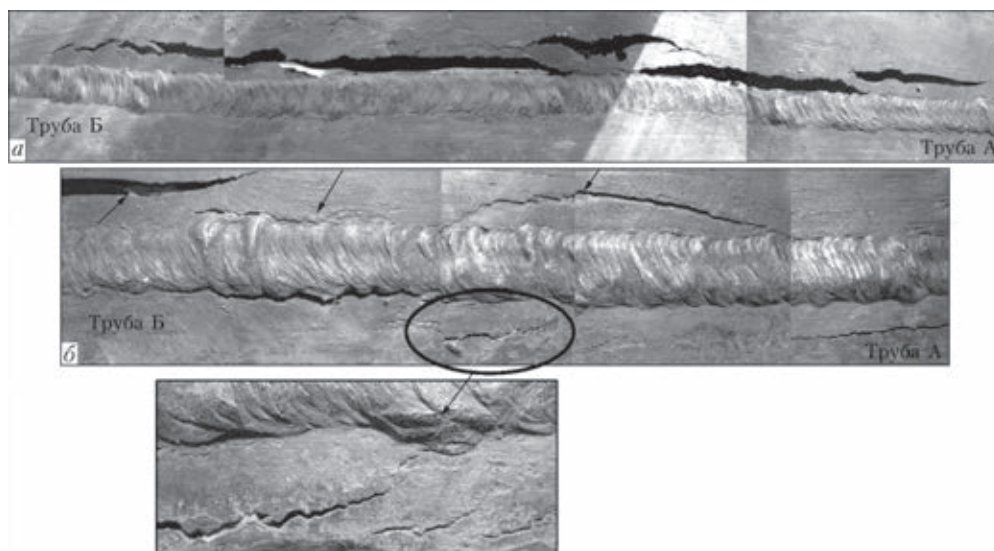


Рис. 6. Участки монтажного кольцевого соединения (см. рис. 5) с максимальным скоплением трещин (стрелками показано расположение трещин): а, б — соответственно участки 1, 2

**Химический состав основного металла труб, мас. %**

Место отбора проб	C	Mn	Si	S	P	Al	Ni	Mo	Ti	V	Nb
Труба А	0,101	1,45	0,272	0,004	0,012	0,031	0,04	0,03	0,004	0,06	0,027
Труба Б	0,119	1,48	0,357	0,003	0,016	0,034	0,05	0,03	0,005	<0,02	0,028



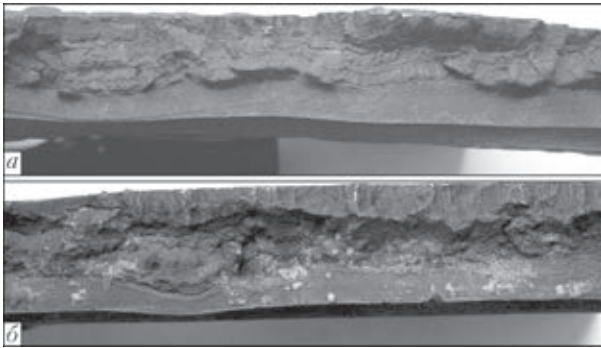


Рис. 7. Характер поверхности разрушения (сквозная трещина)

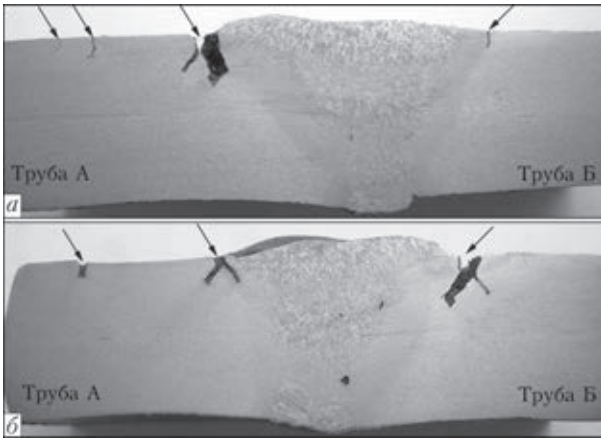


Рис. 8. Поперечные макрошлифы кольцевого сварного соединения в зоне повреждения (стрелками показано расположение трещин)

различной глубины: от поверхностных до пересекающих значительную часть толщины стенки (рис. 8, а, б). Трещины имеют относительно широкое раскрытие с закругленными вершинами (см. рис. 3, а). В большинстве случаев они расположены вдоль кольцевого шва в плоскости, перпендикулярной образующей трубы или под углом около  $45^\circ$ .

Таким образом, в исследованном дефектном участке присутствуют все признаки, характерные для СКР-разрушения металла газопровода: наличие коррозионных повреждений на наружной поверхности металла трубы, колонии полуэллиптических трещин различной протяженности, преимущественно с закругленными вершинами и коррозионными отложениями, ступенчатый характер излома магистральных трещин, свидетельствующий о процессе коалесценции отдельных дефектов, и др.

Кольцевой шов исследуемого соединения выполнен ручной дуговой сваркой с некоторым (максимально до 2 мм) смещением кромок труб в радиальном направлении, что не превышает норму, установленную СНиП III-42-80 (не более 3 мм). С внутренней стороны трубы кольцевой шов выполнен со значительным непроваром корневого



Рис. 9. Внутренняя поверхность трубы в зоне повреждения слоя глубиной до 3 мм (как известно, непровары у корневой части монтажного шва трубопровода диаметром 1000 мм и больше не допускаются). При этом присутствие указанных дефектов в данном случае однозначно не явилось причиной разрушения кольцевого соединения.

Можно полагать, что СКР-разрушению кольцевого сварного соединения газопровода, помимо коррозионных факторов, в значительной мере способствовали дополнительные напряжения, присущие процессу сборки труб при выполнении «захлеста». Косвенно это подтверждается существенной пластической деформацией металла при образовании сквозных дефектов, которую хорошо видно на рис. 9, где показана внутренняя поверхность трубы в дефектом участке.

Таким образом, рассмотрен случай, когда причиной отказа магистрального газопровода явилось стресс-коррозионное растрескивание под напряжением кольцевого монтажного соединения. Отличие данного разрушения от ранее исследованных состоит в развитии СКР-трещин в поперечном направлении относительно оси трубы. Данная информация, по мнению авторов, будет полезна специалистам, работающим в нефтегазовой области при проведении диагностических работ на магистральных трубопроводах.

1. *Коррозионное растрескивание под напряжением труб магистральных газопроводов. Атлас / Под ред. А. Б. Арабей, З. Кношински.* – М.: Наука, 2006. – 105 с.
2. *Stress corrosion cracking of carbon steel in carbonate solution / J. M. Sutcliffe, R. R. Fessler, W. K. Boyd, R. N. Parkins // Corros. NASE.* – 1972. – **28**, № 8. – P. 313–317.
3. *Особенности стресс-коррозионного растрескивания магистральных газопроводов / С. Г. Поляков, А. А. Рыбаков, М. В. Беккер, Ю. П. Гужов // Физ.-хим. механика материалов.* – 2004. – № 4. – С. 376–380.
4. *Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ.* – К.: Академперіодика, 2007. – 332 с.
5. *Крижанівський Е. І., Никифорчин Г. М. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: Наук.-техн. пос.* – Т. 1: Основи оцінювання деградації трубопроводів / Під ред. В. В. Панасюка. – Івано-Франківськ: Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2011. – 457 с.
6. *Eadie R. L., Szklarz R. E., Sutherby R. L. Corrosion fatigue and near-neutral pH stress corrosion cracking of hydrogen sulfide // Corrosion.* – 2005. – **61**, № 2. – P. 167–173.
7. *Stress corrosion cracking behavior of X70 pipe steel in an acidic soil environment / Z. Y. Liu, X. G. Li, C. W. Du et al. // Corrosion Science.* – 2008. – **50**, № 8. – P. 2151–2257.

Поступила в редакцию 08.11.2013