

4. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с.
5. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988. 711 с.



УДК 620.19

СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ*

Асп. *Хабалов Г. И.*,

асп. *Дзуцев Т. М.*,

канд. техн. наук *Алборов А. Д.*,

асп. *Дзарукаев Э. В.*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический институт),
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

Статья посвящена изучению и моделированию развития стресс-коррозионных дефектов на магистральных газопроводах, которые являются основными причинами аварий на газопроводах диаметром 1220, 1420 мм.

Газовая промышленность – крупнейший элемент российской экономики и мировой системы энергообеспечения. Россия занимает первое место в мире по добыче, запасам и ресурсам газа, обеспечивает свыше 21 % его мирового производства и около 25 % всех международных поставок.

Трубопроводный транспорт является одним из самых экономичных способов передачи жидких и газообразных продуктов на дальние расстояния с минимальными потерями продукта в процессе доставки его потребителям, что делает его наиболее важным и эффективным в системе мировой экономики. Магистральные газонефтепроводы, как и все сложные технические системы, имеют свои особенности и проблемы.

* Результаты работы получены при поддержке проекта № 2313 “Развитие методов оценки склонности металла труб магистральных газопроводов стресс-коррозионной повреждаемости и разработка мероприятий по снижению риска техногенных аварий”, выполняемого в рамках государственного задания № 2014/207.

Случающиеся разрушения магистральных газонефтепроводов весьма опасны. Зона поражения окружающей среды от очага разрушения составляет от нескольких сот метров до нескольких километров. Особая опасность при разрушениях связана в возможностью загазованности территорий и населенных пунктов, образованием взрывоопасной смеси газа и воздуха, возгоранием транспортируемых продуктов, их попаданием в крупные водоемы, что может повлечь за собой человеческие жертвы. В таких случаях для восстановления экологического равновесия требуется проведение целого комплекса рекультивационных работ, что связано с большими материальными затратами, которые исчисляются сотнями миллионов рублей [1].

К 2014 г. более 40 % всех трубопроводов находится в эксплуатации более 30 лет, 37 % – более 20 лет и только 1 % – имеет возраст менее 10 лет. Через 20–25 лет эксплуатации число аварий стабильно растёт.

Результаты статистической обработки данных по отказам МГ, произошедшим в период с 1991 – по 2010 гг., представлены на рис. 1 [2].

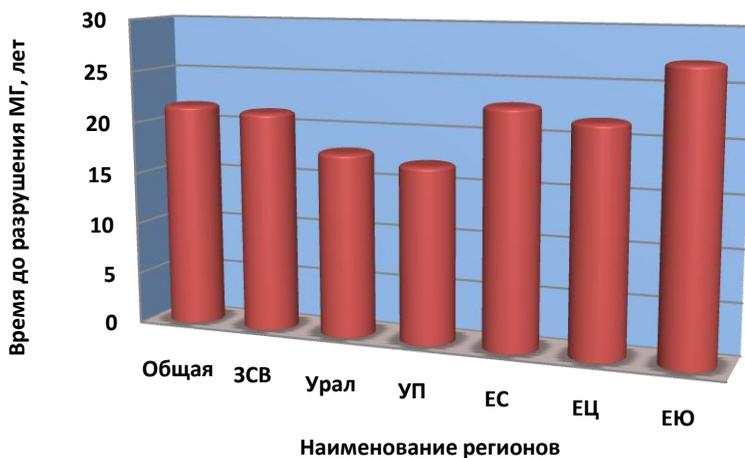


Рис. 1. Среднее время до разрушения МГ по причине КРН.

(ЗСВ – Западная Сибирь (Восток); УП – Уфимское плато;
ЕС – Европа (Север); ЕЦ – Европа (Центр); ЕЮ – Европа (Юг)).

На долю газопроводов, проработавших свыше 20 лет, приходится до 40 % отказов, основная причина которых – коррозионные повреждения, в том числе и коррозионное растрескивание по напряжениям (КРН), чье значение от общего числа коррозионных разрушений составляет около 80 %. Стресс-коррозионные разрушения регистрируются во многих странах мира. Особенно часто это происходит в России, Канаде, США и в странах Европейского союза.

На рис. 2 представлено распределение аварий по причине их возникновения на газопроводах ОАО «Газпром»[3]:



Рис. 2. Распределение аварий, произошедших на линейной части за период 1996–2005 гг. ОАО «Газпром».

В настоящее время в России и зарубежных странах не существует унифицированного подхода по обеспечению безопасного эксплуатации магистральных газопроводов (МГ). Это связано с тем, что условия эксплуатации газонефтепроводов существенно отличают их от работы других металлических конструкций. Зарождение КРН, также известной как стресс-коррозия, сопровождается многообразием факторов: температура, влажность, различие агрессивных электролитов (почвенного содержания), условия эксплуатации, циклические растягивающие напряжения, металлургическая неоднородность металла трубы и т. д. Все эти факторы инициируют деградационные процессы в металле, приводящие к развитию стресс-коррозии.

Жизненный цикл трубопроводов можно условно разделить на три этапа:

1) инкубационный период – на поверхности металла образуются дислокации, субмикротрещины, которые растут во времени, до появления одиночных микротрещин;

2) слияние трещин – это результат объединения одиночных коллинеарных микротрещин на кончиках, образуя более крупные трещины (рис. 3);

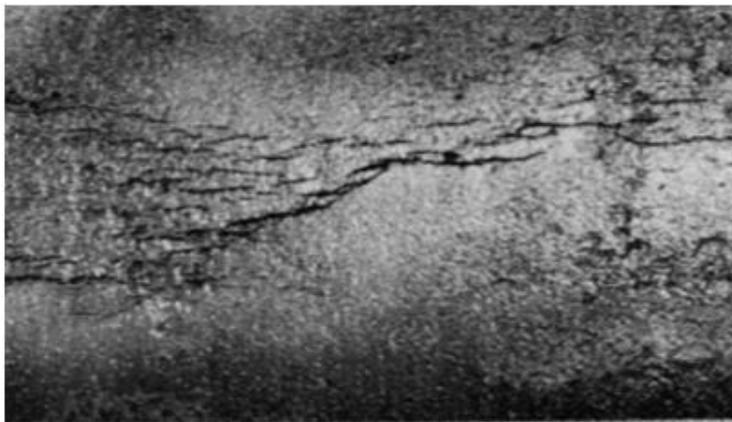


Рис. 3. Слияние нескольких трещин.

3) заключительный этап – это рост одной макротрещины, приводящей к хрупкому разрушению.

Основу механики разрушения составляет исследование напряженно-деформированного состояния около трещин-разрезов (или дефектов такого типа) в деформируемых твердых телах, а также критерии распространения трещин в деформируемом теле при заданном поле нагрузок [5]. За последнее время значительное и все возрастающее внимание уделяется изучению докритического роста искусственно созданных трещин под действием циклических растягивающих нагрузок. Для этого испытуемый образец должен обладать совокупностью конструктивно-технологических признаков реальной трубы, запасом упругой энергии сжатого газа, двухосного напряженного состояния, а при наличии сварных швов обеспечивать сохранения поля остаточных сварочных напряжений.

На рис. 4 показан образец и схема нагружения. Образец состоит из металла трубы и жесткой вставки. Для обеспечения равномерных растягивающих напряжений по толщине в сегменте испытываемого металла трубы, в центральной части образца в жесткой вставке выполнена проточка. Длина проточки способствует выравниванию напряжений по толщине испытываемого металла трубы и определяется по расчетной схеме как для пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой [4].

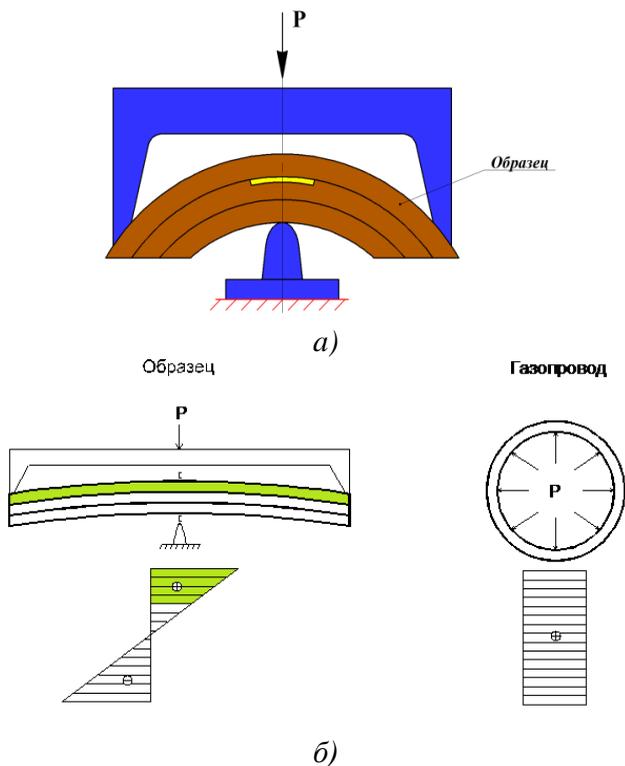


Рис. 4. а – образец; б – схема нагружения.

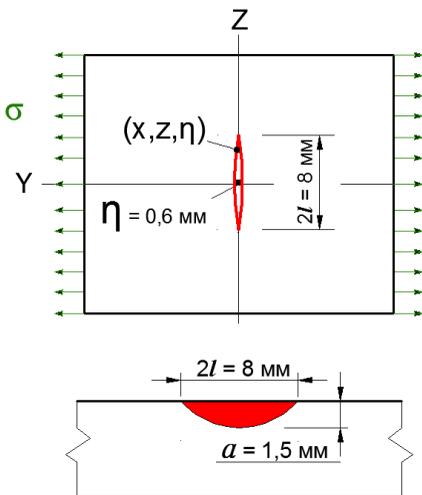
Образцы испытывали на циклическую трещиностойкость с циклом нагружения $(0,6-0,8)\sigma_T$. Предварительно на внешней поверхности образца фрезой наносили полуэллиптические надрезы (имитация поверхностной трещины) шириной $\eta=0,6$ мм, длиной по поверхности $2l=8$ мм на глубину $a=1,5$ мм (рис. 5).

Для изучения кинетики роста одиночных трещин полуэллиптической формы в виде надреза по глубине a , поверхности $2l$, раскрытию берегов η_0 были выполнены эксперименты в лабораторных условиях.

В ходе проведения работ было изготовлено 3 образца. Геометрические, физические и прочностные характеристики образцов идентичны. На центр каждого образца в поперечном направлении наносился полуэллиптический надрез (рис. 6):



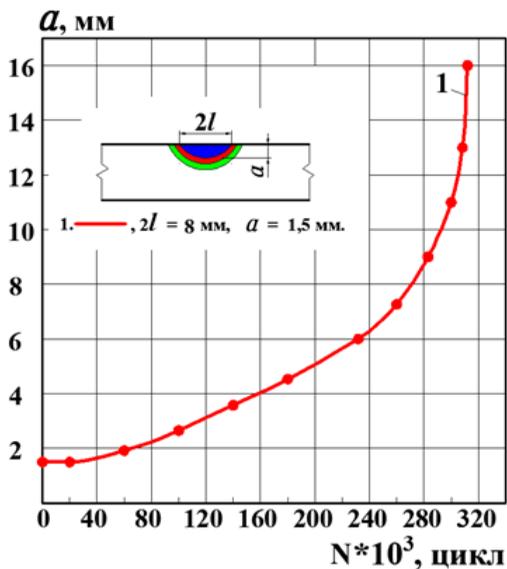
Рис. 5. Испытание образца.



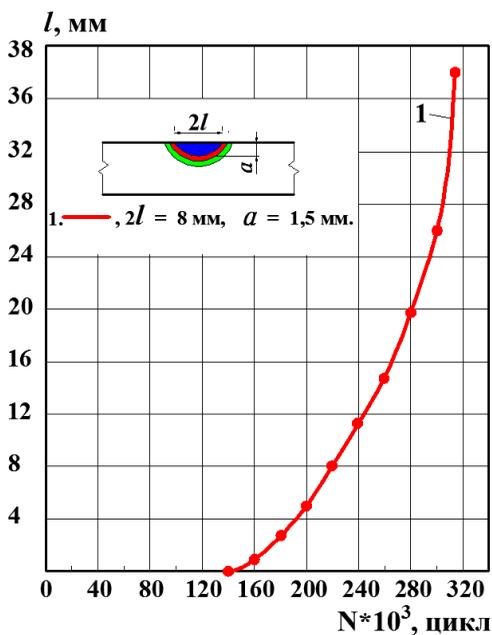
После проведения испытаний (циклические нагружения: $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_T$, $f = 330$ ц/м, $R = 0,6$) были получены кривые развития наведенных трещин эллиптической формы (рис. 7).

Рис. 6. Схема расположения полуэллиптической трещины.

a – глубина трещины,
 η – расстояние между берегами трещины,
 $2l$ – длина по поверхности, при напряжении $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_T$.



а)



б)

Рис. 7. Начало (окончание на с. 42).

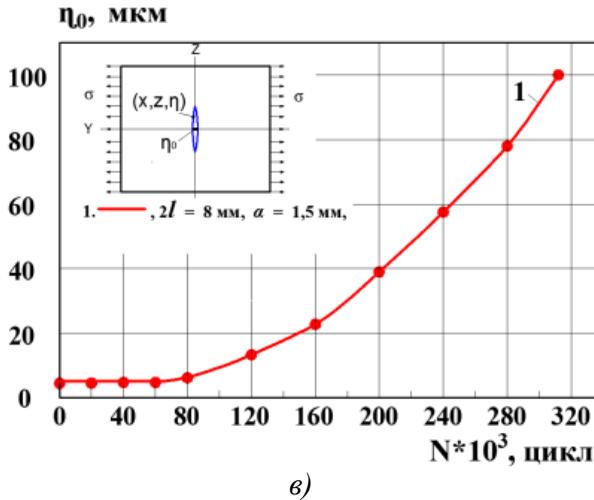


Рис. 7. Развитие наведенных трещин эллиптической формы на образцах из трубной ст. X70, $\varnothing 1420$ мм, $\delta = 15,7$ мм по толщине (а), по поверхности (б) и раскрытию берегов трещины (в) при циклическом нагружении $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_T$, $f = 330$ ц/м, $R = 0,6$.

Как видно из рисунков первая стадия развития трещины при циклических испытаниях характерна интенсивным ростом трещины по толщине образца (составляет 20–25 % толщины), отсутствием изменений размера по поверхности и незначительным увеличением раскрытия берегов. На второй стадии наблюдается увеличение роста трещины по толщине, поверхности и раскрытию берегов. При достижении критических размеров трещины по толщине образца ($a \approx 32\text{--}37\%$), $250 \cdot 10^3$ циклов, вторая стадия развития полуэллиптической трещины переходит в завершающую стадию. На завершающей стадии наблюдается резкое увеличение скорости роста трещины по глубине и поверхности с небольшим увеличением скорости раскрытия берегов трещины, до полного разрушения образца. Образец на третьей стадии достигает полного разрушения за $70 \cdot 10^3$ циклов. Суммарное количество циклов, приводящее к разрушению образца, для трещины с начальным размером $2l = 8$ мм составило $310 \cdot 10^3$ циклов.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что с их помощью можно прогнозировать докритическое подрастание дефектов в трубах, а также для оценки критических размеров дефектов, соответствующих условиям перехода трещины к лавинному росту.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анучкин М. П., Горицкий В. Н., Мирошниченко Б. И.* Трубы для магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1986. С. 7.
2. *Чучалов М. В.* Анализ времени до разрушения магистральных газопроводов, эксплуатирующихся в условиях стресс-коррозии // Газовая промышленность. № 11/698/2013. С. 21–22.
3. *Овчаров С. В.* Разработка «Рекомендаций по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на МГ ОАО «Газпром». М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2007. С. 53.
4. Прочность, устойчивость, колебания. Под общей редакцией Бергера И. А. и Пановка Я. Г. М.: Машиностроение, 1968.
5. *Черепанов Г. П.* Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. С. 312.



УДК 621.38

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

*Проф. Хасцаев Б. Д.,
асп. Абаев А. И.*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

Приведены два варианта построения частотных преобразователей для электроприводов на основе асинхронных двигателей.