

**Behaviour of the segments of the stress concentration in the main gas pipeline weld-affected zone during operation. Practical research
Bukleshev D. (Russian Federation)**

**Поведение участков концентрации напряжений в околошовной зоне магистрального газопровода при эксплуатации. Практическое исследование
Буклешев Д. О. (Российская Федерация)**

*Буклешев Дмитрий Олегович / Bukleshev Dmitry – аспирант,
кафедра безопасности жизнедеятельности,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Самарский государственный технический университет, г. Самара*

Аннотация: известно, что магистральные трубопроводы представляют собой сооружения повышенной опасности, от исправности которых напрямую зависят не только надёжное снабжение сырьем, но и безопасность людей и окружающей среды. В ходе эксплуатации любого трубопровода на него оказывают влияние коррозионно-активные агенты, механические нагрузки, иные виды внешних воздействий. В настоящее время вопросам надёжности сооружения и ремонта газонефтепроводов уделено основное внимание. Как известно, более 50% магистральных трубопроводов эксплуатируются со сроком более 25 лет, что является сроком, близким к амортизационному. Обеспечение высокой надёжности трубопроводов является главной задачей как в процессе их строительства и монтажа, так и в процессе их эксплуатации. При эксплуатации трубопроводов происходит воздействие нагрузки на металл трубы, вследствие чего возникает его предрасположенность к накоплению и образованию зон концентрации напряжений (ЗКН). В статье рассматриваются вопросы возникновения ЗКН в околошовной зоне магистрального трубопровода. В качестве объекта исследования использован фрагмент сварных стыков магистрального газопровода «Средняя Азия – Центр» Ду 1420. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что необходимо знать о наличии ЗКН в околошовной зоне, т.к. трещины разрушения сварных соединений берут начало в зонах концентрации напряжений.

Abstract: it is known that the main pipelines are extra-hazardous constructions good condition of which relates not only directly to the proper raw material supply, but to people and environment safety as well. During its operation any pipeline is influenced by corrosion and active agents, mechanical loadings, and other types of external influences. Currently a great attention is paid to the issue of construction durability and gas and oil pipelines repair. It is known that more than 50% of the main pipelines are operated for more than 25 years that is a term close to the service life. Providing pipeline high durability is the main task both in the course of its construction and installation, and in the course of its operation. During pipelines operation there is a load influence on the metal of a pipe and as a consequence there is a proneness to accumulation and formation of the stress concentration zones (SCZ). In the article the issue of SCZ emergence in the main pipeline weld-affected zone is considered. As a research object the segment of welded joints of the Central Asia-Center Du 1420 main gas pipeline is used. Carried out researches demonstrate that it is necessary to be aware of the existence of SCZ in the weld-affected zone since the cracks of welded connection destruction originate in the stress concentration zones.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, дефекты, напряжения в околошовной зоне, метод магнитной памяти металла, зона концентрации напряжений, нагрузка, испытание на изгиб, образование трещин.

Keywords: main pipeline, defects, stress in the weld-affected zone, magnetic metal memory method, stress concentration zones, loading, deflexion test, cracks formation.

УДК 621.644.07

Практика эксплуатации газопроводов показывает, что основными источниками повреждений при эксплуатации магистральных газопроводов являются локальные зоны напряжений – локальная коррозия, трещины по принципу коррозионного растрескивания под напряжением (КРН), а также деформации от монтажной сборки стыков, которые образуются под действием рабочих нагрузок [1]. При воздействии нагрузки на металл трубы возникает его предрасположенность к накоплению и образованию зон концентраций напряжений (ЗКН). Эти зоны обуславливаются суммарным вкладом всех видов наследственностей, приобретаемых на этапах изготовления прокатного листа, производства трубы, выполнения сборочно-сварочно-монтажных работ при сооружении трубопровода, а также изменений структуры и свойств металла, которые со временем накапливаются в нем.

Металлы имеют неоднородную по механическим характеристикам кристаллическую структуру, как следствие такого явления в теле трубы возникают ЗКН. Неоднородность может быть вызвана воздействием динамических, статических нагрузок, температурным воздействием на металл

(околошовная зона), наличием дефектов металла. Представить такие структуры, как однородные при делении на бесконечно малые элементы, можно только в расчетах при относительно невысоком градиенте напряжений.

С ростом градиента напряжений, как это имеет место вблизи трещиноподобных дефектов, на распределение напряжений начинают влиять отдельные структурные элементы, такие как блоки зерен, отдельные зерна, различно ориентированные по отношению к силовому потоку, граница зерен и др. Все это приводит к тому, что в неоднородность металла способствует росту напряжений. В малых объемах реальных конструкционных материалов, имеющих кристаллическое строение, нарушаются условия изотропности, однородности и непрерывности материала. Вследствие различной ориентации отдельных структурных составляющих распределение напряжений в малых объемах реального материала не может быть плавным. Поэтому структурная микронеоднородность реального материала проявляется в виде неоднородности его деформирования.

Причины возникновения напряжений в металле околошовных зон газопроводов.

Рассмотрим несколько причин образования внутренних остаточных напряжений в околошовных зонах:

1. Локальный неравномерный нагрев металла. Как известно, все металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. В процессе сварки, в результате местного нагрева металла и его последующего охлаждения, в сварном соединении образуется неравномерное температурное поле.

Таким образом, в свариваемой детали возникают сжимающие и (или) растягивающие термические внутренние напряжения. Величина этих напряжений зависит главным образом от температуры нагрева, коэффициента линейного расширения и теплопроводности свариваемого металла. При сварке жестко закрепленной конструкции, величина термических напряжений может возрасти вследствие ограниченности ее свободного перемещения в процессе нагрева и охлаждения. При этом сначала в нагреваемой конструкции ввиду ее расширения будут возникать сжимающие внутренние напряжения, а при последующем охлаждении в процессе ее укорочения – растягивающие напряжения. Когда величина внутренних напряжений достигнет уровня предела текучести, в металле начнут происходить пластические деформации, приводящие к изменению формы и размеров свариваемого изделия. После окончания процесса сварки, в областях, подвергшихся неравномерному пластическому деформированию, возникнут остаточные напряжения.

2. Неравномерные структурные превращения в металле. При сварке стыков магистральных газопроводов при нагреве выше критических температур могут возникнуть напряжения, обусловленные фазовыми превращениями с изменением типа кристаллической решетки и образованием фазы, обладающей большим удельным объемом и другим коэффициентом линейного расширения.

В трубных сталях превращение структур идет с образованием так называемых закалочных структур (мартенсита), обладающих большим удельным объемом, более высокой твердостью, хрупкостью и пониженной пластичностью. Такое превращение сопровождается увеличением объема; прилегающий к нему металл будет испытывать растягивающие напряжения, а участки со структурой мартенсита будут иметь фазовый предел текучести. В непластичных сплавах это может привести к образованию трещин.

3. Литейная усадка наплавленного металла. При охлаждении и затвердевании металла сварного шва и околошовной зоны шва происходит его усадка. Это объясняется тем, что при затвердевании увеличивается плотность металла, в результате чего его объем уменьшается. Вследствие неразрывной связи наплавленного металла с основным металлом, остающимся в неизменном объеме и противодействующим усадке, в сварном соединении возникают продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие соответствующие деформации сварного соединения.

Практическое исследование.

Для исследования поведения зон концентраций напряжений в околошовных зонах и сварных стыках магистральных газопроводов необходимо рассмотреть поведение ЗКН при нагрузках на металл. Для этого необходимо выполнить эксперимент с образцом-фрагментом сварного стыка магистрального газопровода.

В качестве образца для эксперимента взят фрагмент сварных стыков магистрального газопровода Средняя Азия – Центр, сталь 09ГСФ, Ду 1420 мм, твердость по Бринеллю HRB=110 (рисунок 1).

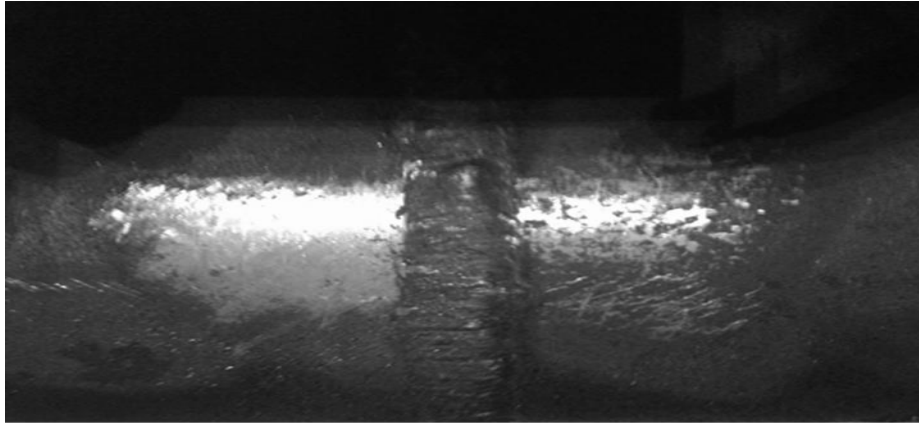


Рис. 1. Образец фрагмента магистрального газопровода

Воздействие нагрузок на образец. Контроль образца на наличие напряжений.

Контроль образца методом магнитной памяти металла выполнялся для определения наличия и координат ЗКН в образце, после создания нагрузки 80кН воздействия. После создания критической для образца нагрузки 120кН координаты образования трещины совпали с координатами ЗКН. Это доказывает то, что дефект образуется именно в ЗКН.

Результат контроля ММПМ: в качестве результата контроля образца прибором ИКН-1М представлена магнитограмма распределения нормальной составляющей собственного магнитного поля рассеяния H_p и его градиента dH_p/dx (рисунок 2). На оси абсцисс магнитограммы представлена шкала длины в миллиметрах, характеризующая длину участка контроля и предназначенная для определения точных координат участка изменения градиента магнитного поля. На оси ординат обозначено распределение магнитного поля (значение градиента магнитного поля).

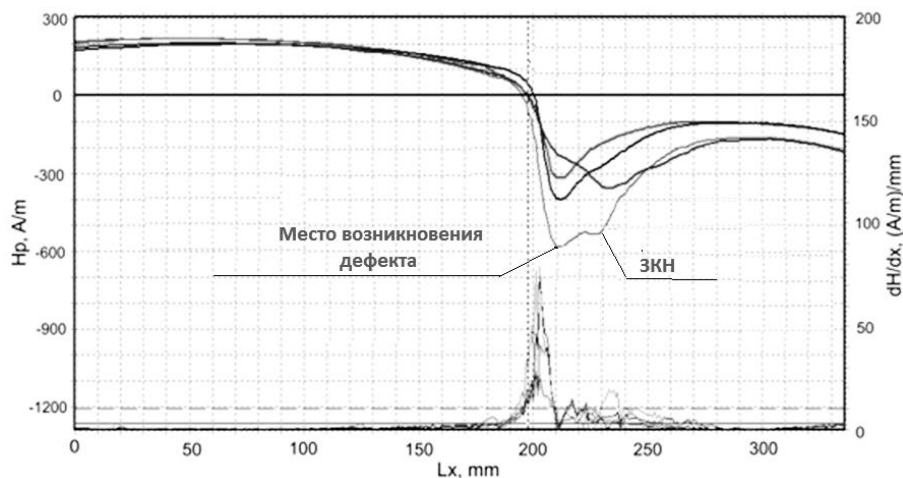


Рис. 2. Магнитограмма распределения нормальной составляющей собственного магнитного поля рассеяния H_p и его градиента dH_p/dx

Из полученной магнитограммы видно, что на 210 мм образца градиент магнитного поля dH_p/dx резко увеличился с 10 до 75 (А/м), что свидетельствует о наличии напряжений в данной точке. Участок образца со значением градиента поля (dH / dx) выше 10 (А/м) / мм, расположенные выше ограничивающей линии, соответствуют недопустимым дефектам по нормам отбраковки согласно «Инструкции по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании МГ, утвержденной 18 ноября 2008 г. ОАО «Газпром».

Контролем образца методом магнитной памяти металла подтверждено наличие и найдены координаты ЗКН. По истечении времени именно в зоне с данными координатами возникает трещина при испытании.

Анализ результатов.

Множество проведенных экспериментов показало, что разрушение металла труб газопроводов, а именно появление трещин, зарождается в околошовной зоне - зоне термического влияния (ЗТВ). В сварных соединениях и околошовных зонах магистральных газопроводов всегда имеются концентраторы напряжений, если даже стыки трубопроводов и ЗТВ не имеют каких-либо дефектов. Концентрация

напряжений возникает в точках резкого изменения геометрической формы шва — неровности наплавленного валика, непровары корня шва, влияние подкладки шва и т.д.

В ЗТВ концентрация напряжений возникает из-за температурного воздействия на металл трубы. Для большинства высокопрочных низколегированных сталей наиболее низкий уровень ударной вязкости отмечается в околошовной зоне (ОШЗ) вблизи линии сплавления. Микроструктура ОШЗ характеризуется временем (скоростью) охлаждения аустенита в интервале температур фазовых превращений. Учитывая химический состав стали и условий охлаждения, микроструктура ОШЗ изменяется от мартенситной до ферритно-перлитной структуры. При сварке трубопровода выделяется высокая погонная энергия, которая в процессе сварки приводит к перегреву металла ОШЗ и ухудшает его структуру, снижает его механические свойства [2]. Снижение механических свойств способствует образованию ЗКН в ОШЗ. Такие зоны присутствуют даже в качественно сваренных соединениях без выявленных дефектов в виде непроваров и шлаковых включений [3].

Испытания на изгиб фрагмента трубопровода, вырезанного из рабочей трубы газопровода, проводились по схеме, представленной на рисунке 4. Испытание проводилось на универсальной испытательной машине (УИМ) (рисунок 3). Нагрузка в образце создавалась плавно, согласно руководящему документу [4], до образования поверхностной трещины в ОШЗ, но не в самом сварном стыке.

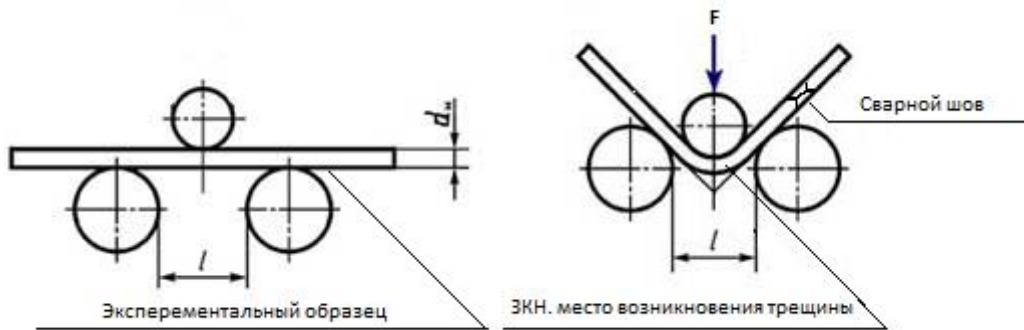


Рис. 3. Схема испытания образца на сосредоточенный изгиб

Во время нагрузки возникают напряжения в местах, которые являются наиболее «уязвимыми» для образования дефектов. Таким местом в нашем испытании является ОШЗ, т.к. она является зоной повышенной концентрации напряжений при эксплуатации трубопроводов. В местах, где максимальные концентрации напряжений, и появляется трещина. Поэтому возникает необходимость в идентификации наличия ЗКН в ОШЗ.

Дефекты в ОШЗ при эксплуатационных нагрузках возникают по ряду причин: химической и структурной неоднородности тела трубопровода, нарушение технологии проведения работ, коррозия и др. [5].

На рисунке 4 приводятся величины «геометрических» величин концентрации упругих напряжений при чистом изгибе газопровода. В местах, где проявляется наибольшая механическая неоднородность свойств шва, возникают ЗКН, что проявляется в виде деформаций эпюр напряжений в ЗТВ при испытаниях.

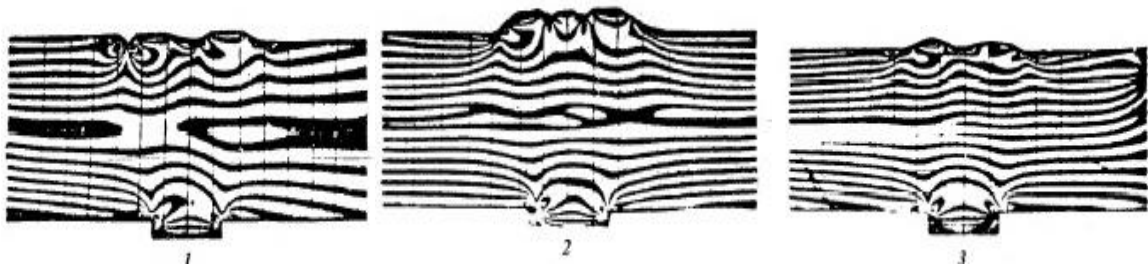


Рис. 4. Концентрация напряжений образца при динамической нагрузке.

1 - нагрузка 80 кН воздействия; 2 - нагрузка 120 кН воздействия;

3 - без нагрузки

Можно заметить, что при динамических нагрузках максимальные повреждения начинают проявляться с внутренней стороны тела трубы, образуя дефектные области. Этот эффект может быть объяснен процессом сжатия-растяжения металла трубопровода при испытании [6].

Заключение.

При испытании на изгиб фрагмента магистрального газопровода получены нелинейные эпюры в зоне ЗТВ, что ещё раз доказывает то, что трещины разрушения сварных соединений идут «изнутри», поэтому требуется тщательный отжиг для устранения остаточных напряжений в области сварки. При рассмотрении образца в микроскоп видно, что в зоне ЗТВ произошла значительная локализация деформации, образование трещин при нагрузке 120 кН (рисунок 5).

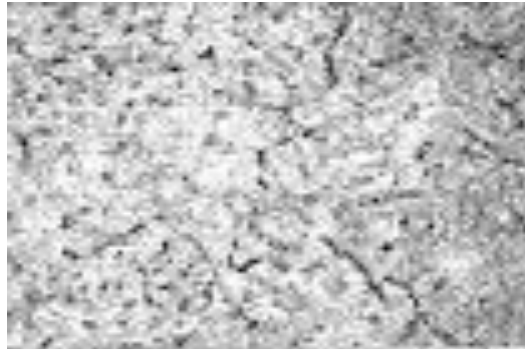


Рис. 5. Зона локализации деформации, образование трещин

В зоне температурного воздействия (околошовной зоне сварного стыка) произошла значительная локализация деформации металла с неоднородными упругими и пластичными прослойками. При данном эксперименте доказано, что трещины разрушения сварных соединений берут начало в зонах концентрации напряжений трубопровода.

Контролем образца методом магнитной памяти металла подтверждено наличие и найдены координаты ЗКН. По истечению времени именно в зоне с данными координатами возникает трещина при испытании. Мы предполагаем, что причиной образования трещины в ОШЗ является микронеоднородность металла, которая может возникнуть на любой стадии, как строительства, так и эксплуатации магистрального трубопровода.

Литература

1. *Касьянов А. Н.* Оценка работоспособности околошовных зон кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2012.
2. *Степанов П. П.* Оптимизация структуры и свойств сварного соединения толстостенных газопроводных труб класса прочности Х70 для подводных трубопроводов: дисс. канд. техн. наук. Москва, 2011.
3. *Маковецкий В. А., Ситников Л. Л.* Исследование напряженного состояния мягкой прослойки сварного соединения методом фотоупругих покрытий / М. Журнал Сварочное производство. № 7, 1970.
4. РД 26-11-08-86 Соединения сварные. Механические испытания.
5. *Коновалов А. Б., Кириленко А. Л., Аввакумов М. В.* Сварные соединения: учебное пособие / ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2010. 97 с.: ил.74.
6. *Маковецкая-Абрамова О. В., Хлопова А. В., Маковецкий В. А.* Исследование концентрации напряжений при сварке трубопроводов [Текст] // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2014. № 2 (28). С. 25-27.