

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ С ДЕФЕКТАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СЕТЕЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

П.В. Ворончихина, К.Д. Зюков, студенты гр. ГПП-15-1
Научный руководитель - М.Н. Назарова, кандидат технических наук
Санкт-Петербургский горный университет,
199106, Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, 2,
Тел. 8-981-164-29-72
E-mail: polina1.2@mail.ru

Промышленность по производству полиэтиленовых трубопроводов оценивает срок службы ПЭ труб в 50-100 лет при грамотном проектировании, установке и эксплуатации [1].

В Российской Федерации первый подземный газопровод из полиэтиленовых труб был построен в августе 1961 г. в Москве на территории Текстильного института [2]. Таким образом, с момента ввода в эксплуатацию газопроводов данного вида прошло более 50 лет. Поэтому так важно систематизировать данные по причинам появления аварийных ситуаций за первые 50 лет работы ПЭ газопроводов для предотвращения их возникновения на новых сетях и расчета вероятности аварий в последующие 50 лет работы.

Полиэтилен является относительно новым материалом, особенно, если сравнивать его с основными конкурентами. Он является органическим соединением молекул этилена, а также газа, связанных между собой в процессе полимеризации. Подобный подход позволяет добиться не только создания вещества с высокими эксплуатационными параметрами, но и установки заранее заданных характеристик.

Полиэтилен принято подразделять на несколько марок, обозначаемых ПЭ и добавлением числового индекса. Различие между ними заключается в отдельных моментах в процессе полимеризации. Образование новых молекул подразумевает создание новых связей и свободных ответвлений. Именно эти факторы определяют свойства вещества. Чем меньше свободных связей, тем больше плотность и выше технические характеристики. Числовой индекс в названии марки определяет степень кристалличности материала. В настоящее время для газопроводов сетей газораспределения применяют полиэтилен ПЭ 80 (MRS 8 МПа) и ПЭ 100 (MRS 10 МПа). Марку ПЭ 63 (MRS 6,3 МПа) сняли с производства по причине возникновения преждевременного излома (дефекты макромолекулярной структуры провоцируют медленное растрескивание ПНД под нагрузкой и последующие разрушения [3]).

Свойства материалов зависят от их кристалличности. Чем молекулярная решётка более упорядочена, тем легче производится спаивание изделий между собой. Получаемый шов имеет ровную структуру и минимальное число дефектов. Температурный режим для спаивания полиэтилена марки ПЭ 100 выше, чем для ПЭ 80. Соблюдая необходимую температуру улучшается надежность соединения.

Пластичность материала является не менее важной составляющей, чем плотность. На молекулярном уровне это достигается за счёт создания большого количества двойных связей, при минимальном числе свободных ответвлений. Таким образом ПЭ 100 имеет лучшие показатели как по пластичности, так и по прочности. Важным фактором является устойчивость полиэтилена к внешним факторам. При

попадании ультрафиолетового излучения на материал происходит незначительное повышение прочности и резкое падение пластичности. ПЭ 100, благодаря особенностям молекулярной структуры, лучше противостоит подобным факторам.

Как показывают исследования полиэтилен ПЭ 100 по всем эксплуатационным параметрам лучше своего предшественника ПЭ 80. Но его недостаток в большей стоимости [4].

Главным параметром при выборе газопровода является максимальное рабочее давление PMS (в МПа), которое рассчитывается по формуле:

$$PMS = \frac{2MRS}{C \cdot (SDR - 1)}$$

где C - Коэффициент запаса прочности C, который выбирают при проектировании газораспределительных трубопроводов из ряда R20 по ГОСТ 8032-84 с учетом условий эксплуатации;

SDR (Standard Dimensional Ratio – стандартное размерное отношение) – отношение номинальной толщины наружного диаметра к номинальной толщине стенки трубы;

MRS (Minimum Required Strength) – минимально требуемая прочность) – минимально прогнозируемая прочность трубы после эксплуатации ее в течении 50 лет при температуре 20°C [5].

При этом не должны снижаться критерии безопасности в течение всего срока эксплуатации. Кроме минимальной длительной прочности материал должен обладать стойкостью к медленному растрескиванию и стойкостью к быстрому растрескиванию. Последний фактор тем важнее, чем больше вероятность внешних повреждений, чем ниже качество сварных швов и чем суровее условия эксплуатации (особенно опасны низкие температуры). Поэтому использование ПЭ 100, превосходящего по показателю 10 стойкости к быстрому растрескиванию ПЭ 63 и ПЭ 80, на давление 1,2 МПа, не менее безопасно, чем труб из ПЭ 63 или ПЭ 80 на давление 0,6 МПа. Принятое в настоящее время допустимое давление в полиэтиленовых трубах из различных марок рассчитано в ГОСТ Р 508-38-95 для сырья при $T_{\text{экспл}} = 20^\circ \text{C}$ и времени 50 лет [2].

Процесс трещинообразования зависит от совокупности факторов, оказывающих своё влияние на газопровод во время эксплуатации. Типы растрескивания зависят от различного сочетания этих факторов.

Вязкое разрушение, тип I, выражается в текучести и свидетельствует о подверженности материала сильной необратимой пластической деформации, возникающей под напряжением. В результате происходит локальное расширение участка стенки и в конечном счете разрыв деформированной зоны.

Разрушение II типа связано с ползучестью, разрушением при ползучести и растрескиванием под напряжением. Ползучесть – зависимая от времени необратимая деформация в условиях постоянного растягивающего напряжения. Разрушение при ползучести представляет собой последний этап этого процесса и соответствует моменту, когда материал под воздействием постоянной растягивающей нагрузки разрушается. На ускорение процесса разрушения при ползучести могут влиять: температура, концентрация напряжений, усталость материала, химическая среда.

Переход из вязкого состояния в хрупкое свидетельствует о том, что начался процесс растрескивания под напряжением. Для ПЭ прочность волокон и их сопротивляемость разрыву во многом зависят от молекулярной структуры, в частности, от молекулярного веса, его распределения, ветвистости молекул, степени кристаллизации и связывающих молекул. Связывающие молекулы соединены с кристаллическими блоками и пересекают аморфные зоны, выполняя функции механических связей между кристаллическими областями. Эти молекулы играют решающую роль в сопротивлении волокон разрыву и обеспечении механических свойств материала под воздействием напряжения.

Разрушение III типа связано с износом и повышением хрупкости пластика в результате термического окисления с течением времени.

Основным типом разрушений для находящихся в эксплуатации ПЭ труб является хрупкое растрескивание под напряжением, которому подвергается стенка трубы ввиду образования дефектов из-за концентрации напряжения в зоне сварного соединения. Трещины образуются из микроскопических разрывов и царапин, либо изначально присущих трубе, либо, что более вероятно, полученных из-за повреждения. Хрупкие механические разрушения, как правило, представляют собой целевые разломы, которые появляются параллельно направлению экструзии трубы. Кольцевое растягивающее напряжение на стенке трубы провоцирует раскрытие трещин.

Места соединения труб являются менее устойчивыми к растрескиванию относительно линейной части газопроводов. Растрескивание под напряжением происходит из-за концентрации напряжений в сварных швах в совокупности с вторичными изгибающими напряжениями. Скорость распространения трещин зависит от условий эксплуатации газопровода [7].

Возникновение трещин зависит от качества выполнения производственных процессов. Величина каждого учитываемого параметра определяется по физико-механическим характеристикам для конкретного трубопровода в отдельности. Параметры:

- Сварочное давление
- Давление протяжки
- Температура плавления
- Овальность трубы
- Торцовка и загрязнение
- Центрирование труб
- Время нагрева торцов
- Технологическая пауза

Применение *методов контроля* позволяют снизить риск возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации полиэтиленового газопровода.

1. Определение стойкости к внутреннему давлению после применения пережима. Настоящим методом определяют стойкость при постоянном внутреннем давлении трубы из полиэтилена после ее пережима. Технику пережима используют для предотвращения прохождения газа при техническом обслуживании и ремонте газопроводов из полиэтилена.

2. Определение стойкости к быстрому распространению трещин (БРТ) маломасштабным методом (S4). Определяют критическое давление, при котором не происходит быстрого распространения трещины.

3. Определение стойкости к быстрому распространению трещин (БРТ) полномасштабным методом (FS). Определяют длину распространившейся трещины. Испытание полномасштабным методом определения стойкости к быстрому распространению трещин моделирует режим работы труб подземного заложения в условиях эксплуатации газопроводов, когда скорость декомпрессии газа не замедляется при разгерметизации через любую трещину в трубе.

4. Определение стойкости к медленному распространению трещин (метод с надрезом). Регистрируют время до разрушения или время испытания. Испытание распространяют на трубы с номинальной толщиной стенки более 5 мм.

5. Определение термостабильности. Определяют индукционный период окисления материала методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), который характеризует степень стабилизации испытуемого материала.

6. Определение атмосферостойкости. Атмосферостойкость – старение при воздействии естественных климатических факторов [8].

Методы контроля сварных соединений имеют двухуровневую систему, состоящую из обязательных и специальных методов.

Обязательным (экспресс) методам оценки подвергаются сварные соединения, выполняемые перед началом строительства газопроводов (допускные стыки) и отбираемые из числа стыков, сваренных каждым сварщиком на объекте строительства (контрольные стыки).

Таблица 1 - Обязательные методы контроля

Обязательные методы	Способ сварки
Внешний осмотр	Нагретым инструментом встык. Детальями с ЗН
Испытание на осевое растяжение	Нагретым инструментом встык
Ультразвуковой контроль	Нагретым инструментом встык
Пневматические испытания	Нагретым инструментом встык. Детальями с ЗН
Испытания на сплющивание	Детальями с ЗН
Испытания на отрыв	Детальями с ЗН (только для седловых отводов)

Специальные методы испытаний проводятся отраслевыми испытательными центрами в случае необходимости подтверждения экспресс-методов, углублённых исследований и других целей [9].

Таблица 2 - Специальные методы контроля

Специальные методы	Способ сварки
Испытание на статический изгиб	Нагретым инструментом встык
Испытание при постоянном внутреннем давлении	Нагретым инструментом встык. Детальями с ЗН
Испытание на длительное растяжение	Нагретым инструментом встык
Испытание на стойкость к удару	Детальями с ЗН (только для седловых отводов)

Работоспособное состояние – состояние объекта, в котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям, установленным в документации на этот объект [10]. Оценка работоспособности полиэтиленовых газопроводов с дефектами-трещинами представляет собой совокупность параметров, которые необходимо учитывать на всех этапах создания безопасной газотранспортной системы (начиная с

производства полимерного материала и заканчивая контролем качества газопровода в процессе эксплуатации). Учет каждого параметра является основой для последующего моделирования аварийных ситуаций.

Список литературы:

1. Plastics Pipe Institute. Handbook of Polyethylene Pipe, 2nd Edition, 2008.
2. Фаттахов М.М. Применение труб из термопластов при строительстве и реконструкции распределительных трубопроводов// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. – 1-14 с.
3. Кимельблат В.И., Вольфсон С.И., Чеботарева И.Г. Прогнозирование эксплуатационных качеств экструзионного полиэтилена низкого давления по реологическим характеристикам. – Механика композитных материалов № 4, 1996. – с.558-663.
4. Отличие полиэтилена ПЭ 80 от ПЭ 100 [Электронный ресурс]: АОС – Универсальный поставщик стальных и пластиковых труб. – Режим доступа: <http://aosgk.ru>, свободный.
5. УК «Группа Полипластик» [Электронный ресурс]: Трубы из полиэтилена. – Презентация PDF. – Режим доступа: <http://rapts.ru/sites/default/files/spetsialistu>, свободный.
6. Крис О'Коннор. Полиэтиленовые трубопроводы: как избежать дефектов сварки? // Газ России. 2012. – №3. – 48-58с.
7. ГОСТ Р 50838-2009 (ИСО 4437:2007). Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технологические условия. – [б.и.], 2009. – 58с.
8. Свод правил по проектированию и строительству: СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. – [б.и.], 2003. – 91с.
9. ГОСТ 27.002 – 2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 28с.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО ШВА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СКЛОННОСТЬЮ К ОБРАЗОВАНИЮ СТРЕСС – КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН

*М. Н. Назарова, доцент кафедры ТХНГ,
В. В. Понкратова, студентка гр. ГРП-14-2,
Санкт-Петербургский горный университет,
199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия Васильевского острова, 2,
Тел. 8-911-081-6892
E-mail: ponkratova_lera@mail.ru*

1. Введение

Механические свойства сварного соединения зависят от его структуры, определяемой химическим составом, видом сварки и режимом термообработки. В большинстве случаев при авариях на газопроводах металл труб в месте разрушения имеет отклонение по химическому составу. Разные химические элементы могут как положительно, так и отрицательно воздействовать на формирование структуры сварного шва. Количественные связи между отклонениями по химическому составу