

АКТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В 1981 году, после пуска крупнейшего в Европе Казанского трубного завода, полимерные трубопроводы в СССР быстро превратились из опытно-экспериментальных объектов строительства в популярные, а затем и рутинные. В последние годы в России построено много новых трубных заводов, объем применения полиэтиленовых труб постоянно растет, расширяется география объектов и сфера применения полимерных труб.

С начала 1980-х годов по настоящее время автору приходилось периодически выполнять экспертизу качества полиэтиленовых труб, строительства полимерных трубопроводов и анализировать причины аварий полиэтиленовых трубопроводов различных диаметров.

Объекты располагались на территории России и других республик СНГ. Кроме того, анализировалась информация, собранная коллегами, и учитывался зарубежный опыт.

Нормативный срок службы полиэтиленовых труб составляет не менее 50 лет при стандартных условиях эксплуатации, а потенциальная долговечность, рассчитанная с учетом запаса прочности, достигает 300 лет. Эти расчеты, а также 70-летний положительный опыт эксплуатации полимерных труб в высокоразвитых странах стимулировали процесс замены традиционных труб полимерными во всем мире. Широко известны также сведения о более высокой надежности, устойчивости полимерных трубопроводов во время техногенных и природных катастроф по сравнению с традиционными.

Следует отметить, однако, что монтажно-эксплуатационные преимущества полимерных труб реализуются в безаварийную эксплуатацию трубопроводов только при строгом соблюдении технических норм на всех стадиях производства и применения труб. Напротив, нарушения норм приводят к серьезным авариям, дискредитирующим полимерные трубы. Так, например, процесс внедрения полиэтиленовых труб на нефтепромыслах на несколько лет затормозился в начале 1980-х годов после крупной аварии, обусловленной эксплуатацией трубопровода при завышенных параметрах транспортируемой среды.



Владимир Кимельблат

д.т.н., профессор

Эксплуатационная надежность и долговечность полиэтиленовых трубопроводных систем зависит от:

- свойств материала труб;
- соответствия материала и геометрических размеров трубы условиям эксплуатации;
- конструкции сварных соединений;
- техники и технологии сварочно-монтажных работ.

Экспертиза полиэтиленовых трубопроводов с целью прогнозирования срока эксплуатации или выявления причин аварий может быть выполнена на двух уровнях.

1. Строго формализованная проверка соответствия нормам всех актуальных факторов.

2. Научно-обоснованный анализ объекта с привлечением расчетно-аналитических методов, механических испытаний, физико-химических, реологических и других исследований.

Оба уровня экспертизы полиэтиленовых трубопроводов успешно использовались автором на протяжении последних 25 лет.

Основные положения формализованной экспертизы

В соответствии с действующими во всем мире нормами, при строительстве трубопроводов с применением труб из полимерных материалов для обеспечения требуемого качества строительства необходимо производить: проверку квалификации монтажников и сварщиков; входной контроль качества применяемых труб, соединительных деталей и арматуры; технический осмотр сварочных устройств и инструмента; систематический операционный контроль качества сборки и режимов сварки; визуальный контроль качества сварных соединений и контроль их геометрических параметров; механические испытания сварных и других соединений.

Наш опыт показывает, что серьезные аварии полиэтиленовых трубопроводов происходят при **сочетании** нескольких нарушений норм. Поскольку не все нарушения технологии можно выявить при экспертизе, важно оце-



Рис. 1. Разрушенное соединение трубы ПЭ 80 Ø710 мм SDR 13,6 со втулкой ПЭ 100 SDR 17.

нить общий технический уровень строительной фирмы и, в особенности, уровень технологической дисциплины. Получив негативные оценки состояния сварочного оборудования и квалификации кадров, можно с уверенностью браковать трубопровод диаметром 315 мм и более, сваренный данной строительной фирмой. Трубы малых диаметров более «снисходительны» к вариациям технологии, но в конечном итоге любое нарушение норм опасно.

В подавляющем большинстве случаев непосредственными причинами аварий являлись достаточно грубые нарушения технологии сварочно-монтажных работ. Опросы непосредственных виновников нарушений обычно выявляют низкую квалификацию сварщиков, использование низкокачественного сварочного оборудования и отсутствие системы контроля технологического процесса сварки и монтажа.

Для выявления нарушений технологии сварки неоспоримую роль играет автоматическое протоколирование основных параметров сварки, технические аспекты которого будут рассмотрены ниже.

В последнее время участились аварии, обусловленные использованием низкокачественных труб, деталей, выпущенных анонимными производителями, и несоответствием деталей трубам по свойствам материала (MRS) и толщине стенки.

На рисунке 1 изображено соединение трубы Ø710 мм, SDR 13,6, ПЭ 80 со втулкой SDR 17, ПЭ 100, разрушившееся в первую ночь эксплуатации водопровода, снабжавшего водой половину областного города.

Обе детали в отдельности способны эксплуатироваться под давлением 1,0 МПа, но несоответствие толщин стенок свариваемых деталей не только привело к разрушению соединения, но и спровоцировало рост продольной трещины в трубе из ПЭ 80 по механизму быстрого растрескивания.

Ответственность за подобные аварии делят снабженцы, инженеры и сварщики, каждый из которых должен на своем месте блокировать нарушения норм.

Естественной мерой помощи строителям в повышении технического уровня несомненно является переподготовка кадров ИТР (в том числе и в первую очередь снабженцев) и сварщиков, которой автор занимается уже 25 лет. Опыт показывает, что однократного обучения недостаточно. Свойства материала труб постоянно совершенствуются, то же относится к сварочной технике и технологии. Поэтому по аналогии с рядом высокоразвитых стран необходима периодическая переподготовка (повышение квалификации) рабочих и специалистов, которую не следует путать с аттестацией, преследующей другие, формальные цели.

Экспертиза с углубленным анализом

Вместе с тем, существует ряд факторов, которые для строительных фирм являются объективными. К ним относятся некоторые свойства полимерных труб, формально признанных качественными, недостоверная или неполная информация, предоставленная поставщиками труб (которую нельзя выявить при входном контроле), предусмотренные проектом способы соединения труб и технология монтажа, производственная необходимость проведения сварочно-монтажных работ в неблагоприятных условиях и другие.

Естественно, эти факторы следует учитывать при детальной экспертизе полимерных трубопроводов

Факторы структуры и свойств материала трубы. В соответствии с представлениями начала 1980-х годов, сополимер этилена, содержащий до 3% (молярных) пропилена был рекомендован для выпуска труб и фитингов наряду с другими сополимерами этилена. При этом недооценивались те различия в структуре кристаллических и аморфных фаз сополимеров с метильными или более крупными ответвлениями, которые были детально исследованы позднее.

Длительное время большая часть полиэтиленовых труб водохозяйственного назначения изготавливалась из полиэтилена низкого давления (ПНД) марки 273-79, который на стадии полимеризации модифицировался пропи-

леном (ПНДП). Параллельно выпускались газопроводные трубы из ПНД с бутеном (ПНДБ) и импортных марок ПНД, модифицированных бутеном или гексеном.

Статистический анализ длительной прочности труб из ПНДП показал, что необходимый уровень длительной хрупкой прочности (ДХП) имеет только часть труб, характеризующаяся относительно высокой вязкостью расплава и, соответственно, высокой средней молекулярной массой. Ресурс остальных труб (примерно половина от общего объема) ниже норм. Наши исследования показали также, что сварные соединения ПНДП обладают меньшей стойкостью к растрескиванию, чем соединения ПНДБ.

Следовательно, объективный фактор неблагоприятного влияния неоптимального сомономера (пропилена) следует учитывать в практике экспертиз трубопроводов, которые эксплуатируются до настоящего времени.

В дальнейшем (к середине 1980-х годов) выпуск ПНДП был прекращен. Сополимер этилена с пропиленом экстразионного назначения был вытеснен сополимерами этилена с бутеном и гексеном, обладающими очевидными структурными преимуществами. Эти материалы, называемые сополимерами первого поколения, классифицируются как ПЭ 63 (MRS = 6,3 МПа).

В этот период нами был выявлен второй неблагоприятный фактор, влияющий на эксплуатационную надежность полимерных труб. Им оказались разветвленные и сшитые структуры в предполагаемо линейном ПНД. Эти дефекты макромолекулярной структуры провоцируют медленное



**Балт
ПРОЕКТ**
санкт-петербург

На шаг впереди конкурентов!

Оборудование для бестраншейного ремонта и прокладки сетей



Промывка сетей



Сварка п/э труб



ТВ-инспекция



Бурение



Разрушители труб:

PIPEBURSTER T30	40-200 мм
T40	50-315 мм
T65	60-355 мм
T85	60-450 мм
T125	75-520 мм
T175	90-710 мм
T350	150-1400 мм

* - НОВИНКА

ООО "БАЛТПРОЕКТ"
(812) 327-11-55, 542-85-55

SCANDINAVIAN TRENCHING CENTRE

www.baltproject.spb.ru

растрескивание ПНД под нагрузкой и последующие преждевременные разрушения. Для прогнозирования подобных явлений нами была разработана специальная реологическая методика, которая эффективно использовалась для решения ряда экспертных задач [1].

В последние годы достигнуты определенные успехи в области молекулярного, макромолекулярного и композиционного дизайна трубных марок полиэтилена низкого давления. В промышленную практику последовательно вводятся новые материалы, обладающие все более высокими показателями долговечности как основного материала, так и сварных соединений.

Полиэтилены средней плотности (ПСП), называемые полиэтиленами второго поколения или ПЭ 80 (MRS = 8,0), обладают лучшим сочетанием долговременной прочности и жесткости, чем ПЭ 63. Снижение плотности ПЭ за счет введения дополнительного количества высших олефинов улучшает эксплуатационные характеристики трубного материала. Детали из ПСП хорошо свариваются.

В процессе детального исследования и обобщения опыта широкого применения ПСП выявились его слабые места. С понижением степени кристалличности в результате введения сомономеров снижается стойкость ПСП к компонентам газового конденсата. ПСП не обеспечивал также желаемого уровня сравнительно нового показателя труб – стойкости к быстрому распространению трещин. На практике это означает, что зародившаяся трещина очень быстро распространяется вдоль трубы на расстояние нескольких метров и даже сотен метров, выводя из строя протяженные участки трубопроводных систем.

Справедливости ради следует отметить, что быстрые трещины в трубах обычно провоцируются разрушениями некачественных сварных стыков. Об этом свидетельствует наш собственный опыт и заключения коллег. Эта последовательность неоднократно воспроизводилась в серьезных авариях ряда трубопроводов диаметром 710, 800 и 1000 мм. Быстрому растрескиванию способствуют

низкая температура транспортируемой среды и наличие воздуха в трубопроводе [2].

Для наиболее ответственных трубопроводов получен полиэтилен третьего поколения, ПЭ 100, называемый еще бимодальным полиэтиленом высокой плотности (БМП). Он обладает бимодальным молекулярно-массовым распределением (ММР) и по всем свойствам превосходит предыдущие градации полиэтиленов.

БМП имеет высокую стойкость к растрескиванию в режимах быстрого и медленного роста трещин, пониженную ползучесть. При экструзии БМП возможно увеличение линейной скорости производства труб, обусловленное уменьшением веса погонного метра. Бимодальная технология синтеза недавно была распространена на получение нового материала: полиэтилена высокой плотности с MRS = 8,0 МПа, превосходящего ПСП по ряду технических характеристик и при этом более экономичного, чем ПЭ 100.

При научно обоснованном анализе бимодальных полиэтиленов перед экспертом возникает дополнительная задача оценки ММР. Эта нетривиальная задача решена нами в рамках специальной реологической методики, которая уже проверена на практике [3].

Роль условий эксплуатации. В отличие от трубопроводов из традиционных материалов, полимерные трубопроводы очень чувствительны к отклонениям от норм параметров транспортируемых сред. Так, превышение нормативного рабочего давления на несколько процентов или установленной температуры на несколько градусов весьма ощутимо сказываются на долговечности трубопровода.

В ряде случаев наша экспертиза устанавливала необходимость серьезного ужесточения контроля параметров среды (в частности, рабочего давления для водопроводов) или полной замены полимерных труб на трубы из более теплостойких полимеров, армированные полимерные или металлические (для систем горячего водоснабжения и тепловых сетей). Наиболее часты случаи аварий полипропиленовых труб, эксплуатирующихся при недопустимо повышенных температурах и давлениях транспортируемой среды. В этом случае ответственность с неопытными строителями делят недобросовестные производители и поставщики полипропиленовых труб и деталей.

Коэффициенты тепловых деформаций и показатели ползучести полимеров многократно превышают эти показатели у металлов. Последние два фактора особенно актуальны для надземных трубопроводов и ориентируют экспертов на особо внимательное отношение к креплению и компенсации осевых деформаций в надземных полимерных сетях.

Способы сварки. Сварка полимерных труб и фитингов представляет собой последний этап переработки полимеров и вместе с тем важнейший компонент технологии применения труб. Теоретические представления об оптимальных конструкциях сварных соединений, уточненные на основании анализа опыта эксплуатации трубопроводов, в основном, сформировались. Электротермический метод нагревания теснит контактный при раструбной сварке труб малых диаметров и седельной сварке. Кон-





Рис. 2. Блок регистрации параметров сварки КПТЭП

тактная сварка встык доминирует при сварке напорных труб диаметром до 1600 мм. Гофрированные и витые трубы диаметром до 5000 мм соединяют электрополотнами и электромуфтами, а также экструзионной сваркой.

В России по ряду объективных причин актуальна контактная стыковая сварка напорных труб. Современные сварочные аппараты состоят из центраторов, снабженных индикаторами усилия смыкания труб, устройствами для обработки торцов и нагревателей, снабженных автоматическими регуляторами температуры. Уровень механизации и автоматизации основных операций постоянно растет, но полностью автоматизированная техника в известной мере оправдывает себя только при эксплуатации в цехах. Необходимость визуального контроля процессов подготовки заготовок к сварке исключает возможность полной автоматизации сварки в полевых условиях.

Многочисленные стандартизированные способы сварки закрывают все потребности строителей. Вместе с тем, регулярно встречаются случаи применения многочисленных и чрезвычайно разнообразных кустарных методов соединения труб. Впрочем, эти нарушения технологии

можно отнести к группе обусловленных низким техническим уровнем строительных фирм.

Роль приборных методов контроля. Испытания ультразвуковых дефектоскопов в лабораториях и их многолетняя эксплуатация в полевых условиях показали их ограниченную эффективность, причем только при исследовании швов, полученных экструзионной или газовой прутковой сваркой. Нарушения технологии контактной сварки и дефекты сварных соединений не выявляются ультразвуковым контролем (УЗК). Низкая эффективность УЗК для контроля полимеров является естественным следствием фундаментальных физических законов. Повысить эффективность этого неразрушающего метода, очевидно, не удастся. Широкое и насильственное внедрение УЗК в российскую практику строительства полиэтиленовых газопроводов осуждается ведущими специалистами всего мира и является следствием недобросовестного протекционизма.

Очевидный вред применения УЗК обусловлен делегацией ответственности за качество сварки с непосред-

венного исполнителя на контролера УЗК, который, на самом деле, не может помочь сварщику в выявлении брака.

Компьютерное протоколирование: объективный инструмент экспертизы. Важной тенденцией развития технологии контактной сварки во всем мире является организация автоматического и объективного контроля основных параметров сварки. Эти технологические задачи решаются применением компьютерных или микропроцессорных блоков регистрации параметров сварки (БРПС, рис. 2).

При компьютерном протоколировании автоматически определяются и сохраняются усилия холостого хода, длительность технологической паузы и температура окружающей среды. Информация записывается на магнитные карты, флорпи-диски, флеш-память, другие носители или сохраняется в памяти блока регистрации, откуда переносится в память персонального компьютера или распечатывается на принтере непосредственно с БРПС.

Естественно, использование способов сварки, предусматривающих протоколирование, значительно повышает возможности экспертизы, как внешней, так и внутренней, выполняемой контролерами строительных фирм. Поэтому многие строительные организации, желающие продемонстрировать свой высокий технический уровень перед заказчиками, оснащаются сварочными аппаратами ведущих европейских фирм, снабженными компьютерными

протоколерами. С 1998 г. мы обучаем сварщиков и контролеров процедурам компьютерного протоколирования на гидравлических сварочных установках УСПТЭП, укомплектованных блоками КРТЭП (рис. 3).

Различные расчетно-аналитические подходы дают прогнозы увеличения объемов применения полимерных труб в России в ближайшем будущем примерно на порядок. В этих условиях научно обоснованная и технически корректная экспертиза качества сварочно-монтажных работ приобретает высокую степень актуальности.

Литература.

1. 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.

2. Гвоздев И.В. Феномен быстрого распространения трещины при опрессовке ПЭ труб большого диаметра. – Полимерные трубы. № 4, 2004, с. 25-27.

3. Кимельблат В.И. Молекулярный дизайн экструзионных марок ПНД с применением специальных реологических методик. – Структура и динамика молекулярных систем. Сборник статей, выпуск X, часть 1. Казань, Москва, Йошкар-Ола, Уфа, 2003. С.114-117.

Рис. 3. Практическое обучение специалистов на машине УСПТЭП 630, снабженной компьютерным БРПС

