

ОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБ, БЫВШИХ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ, ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ ППУ

*Павлюк С.К., д-р. техн. наук,
ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев;
Лупачев В.Г., канд. техн. наук,
Республиканский институт инновационных технологий Белорусского национального
технического университета, г. Минск,
Лупачев А.В., маг. техн. наук,
ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев,
Стеклов О.И., д-р. техн. наук,
РГУНиГ им. Губкина, г. Москва.*

Аннотация

В настоящее время некоторые предприятия, имеющие производственные площади для выпуска предварительно изолированных труб представляют свою продукцию в ценовой политике, находящуюся существенно ниже стоимости комплектации. Это связано с использованием недорогих или несоответствующих требованиям качества и стандартов материалов; применением стальных труб, бывших в использовании.

Данный вид труб появился на рынке из нефтегазовой промышленности. Их дальнейшее использование в данном секторе невозможно по причине окончания расчетного срока эксплуатации и отсутствия гарантии их надежности. Такие стальные трубы проходят поверхностную очистку и позиционируются как новые, при этом её действительная стоимость составляет не более 50-60% от стоимости новой. Пытаясь выжить в сложных рыночных условиях, и в целях получения быстрой прибыли, некоторые предприятия-изготовители труб в ППУ изоляции, без стеснения закупают подобные трубы, бросая тень на добросовестных изготовителей, использующих качественные материалы, подрывая экономику заводов-производителей стальных труб. При производстве труб в ППУ изоляции недопустимо экономить на комплектации, поскольку от этого зависит действительный срок эксплуатации трубопроводов.

Введение

Трубопроводы теплотрасс из стальных труб предварительно изолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой или оцинкованной стальной гидрозащитной оболочке (трубы ППУ) при эксплуатации испытывают воздействие переменных механических и тепловых нагрузок. Расчетный срок эксплуатации трубопроводов из труб ППУ — 30 лет при температуре теплоносителя 120-130°C. Трубопроводы в течение этого периода должны сохранять работоспособность — состояние, при котором значения параметров, характеризующих способность выполнять функции транспортировки горячей воды, соответствуют требованиям технической документации. При этом основным требованием является транспортировка теплоносителя без его протечек и без сверхнормативных потерь тепла при проектной пропускной способности.

Обобщенной характеристикой трубопровода является его надежность. Эту характеристику определяют несколько составляющих. Основная составляющая — безотказность трубопровода, которая проявляется во времени и характеризуется наработкой на отказ. В соответствии с ГОСТ 27002-89 отказ — это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказы трубопроводов могут быть внезапные или постепенные, что в результате приводит к потере их работоспособности частично или полностью. Частично работоспособность трубопроводов теряется вследствие намокания теплоизоляции из-за протечки

транспортируемого теплоносителя или попадания наружной влаги на поверхность стальной трубы из-за повреждения гидрозащитной оболочки. Полные отказы могут привести к авариям, причиной которых является существенное нарушение сплошности стальной трубы или сварных соединений.

Работоспособность, надежность и экологическая безопасность трубопроводных систем теплофикации и горячего водоснабжения в значительной степени определяют условия проживания населения и имеют не только техническую, но и социальную значимость.

1. Накопление повреждений в металле труб при эксплуатации на нефте- и газопроводах

При строительстве трубопроводов используют трубы из углеродистых и низколегированных сталей. Производство труб, их транспортировка, монтаж и последующая эксплуатация трубопроводов приводят к накоплению в стенках труб повреждений и дефектов механической, физической и коррозионной природы [1]. Значительная часть дефектов выходит за предельно допустимые размеры.

Механические дефекты проявляются в виде остаточных деформаций, искривленности, овальности труб, гофр, возникающих при пластической деформации. Механические повреждения возникают при изготовлении труб на заводе, в процессе транспортировки и выполнении монтажно-сварочных работ при строительстве [2].

Повреждения физической природы — это изменения структуры, возникающие при деформационном старении металла, рыхлоты и микротрещины.

Накопление физических микрповреждений структуры связано с внутренней упруго-пластической деформацией металла. Пластическая деформация развивается по мере наработки. Она может быть однонаправленной и знакопеременной. О значительной величине накопленной пластической деформации свидетельствуют изгибы труб, овальность, гофры. В результате деформирования снижается запас пластичности металла. Особая опасность состоит в том, что процессы накопления деформаций и повреждения структуры часто носят локальный характер и концентрируются в местах зарождения микротрещин.

В процессе длительной эксплуатации стальных трубопроводов в трубах накапливаются повреждения, связанные с деформационным старением [3]. Распадаются твердые растворы и выделяются из феррита третичный цементит, оксиды и нитриды, происходит перестройка дислокационной структуры и накопление микрповреждений от эксплуатационных нагрузок. Эти процессы вызывают снижение пластичности металла, степень которого зависит от продолжительности эксплуатации труб.

При сварке труб, в значительной степени исчерпавших технический ресурс в нефте- и газопроводах, в зоне термического влияния активизируются структурные превращения, снижающие работоспособность сварных соединений.

Коррозионные повреждения образуются в виде общей коррозии поверхности трубы, нарушений сплошности металла в виде питтинга и язв.

Старение и повреждение гидроизоляции приводит к активным коррозионным процессам по всей поверхности трубы. Для подземной коррозии трубопроводов характерно повреждение в виде питтинга, язв и раковин, проникающих внутрь металла трубы. Глубину коррозионного повреждения определяют эмпирическим выражением:

$$h = K \cdot \tau^n,$$

где: h — максимальная глубина коррозионного повреждения; K — коэффициент пропорциональности; n — константа, зависящая от степени аэрации почвы; τ — время воздействия агрессивной среды.

Поверхностные дефекты развиваются во времени и если глубина проникновения коррозионного повреждения равна толщине стенки трубы $h_{ст}$, труба разгерметизируется даже при отсутствии давления.

На внутренней поверхности трубы интенсивность коррозионных процессов

определяется влажностью газа и наличием в нефти примесей, особенно соединений серы. Внутренняя коррозия менее опасна, чем наружная, поскольку она является преимущественно общей.

Выявленные дефекты классифицируют по степени опасности и принимают решения о режимах безопасной работы, сроках и видах ремонта, вывода трубопровода из эксплуатации. Основные группы характерных дефектов труб [4]: докритические — допустимые; критические, требующие ремонта; закритические — недопустимые, вызывающие аварийные разрушения трубопроводов.

Бывшие в эксплуатации трубы обычно сдают в металлолом, хотя есть попытки использовать их остаточный ресурс для эксплуатации в других условиях, нарушая при этом нормативные документы и стандарты.

2. Снижение надежности, работоспособности и безотказности теплотрасс, построенных с использованием бывших в употреблении труб

Отказы трубопроводов вызываются совместным действием термической усталости и коррозионно-активной среды.

Явление малоциклового усталости связано с тем, что в процессе эксплуатации в макроскопических объемах металла накапливаются пластические деформации. Величину пластических деформаций принято изображать графически в виде ширины петель циклического деформирования (рис. 1).

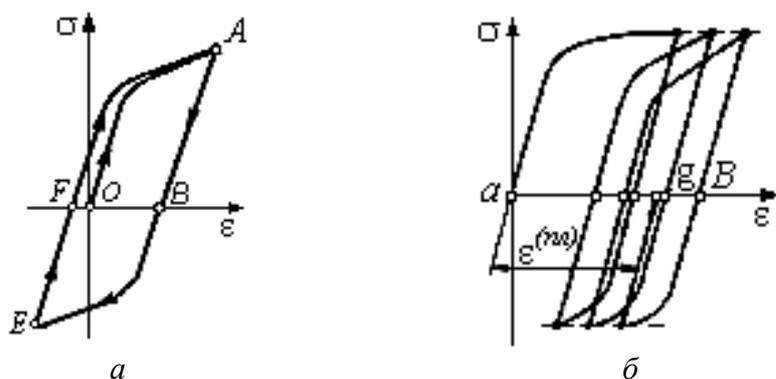


Рис. 1. Пластическая деформация металла: *a* — циклическое деформирование материала; *б* — накопление пластической деформации при нагружении

На рис. 1, *a* показан процесс накопления пластической деформации ϵ при растяжении (отрезок OB) и при сжатии (отрезок OF). В случае, если имеет место приспособление металла к нагрузке, он подвергается многоциклового усталости. В рассмотренном примере приспособление металла к нагрузке наблюдается, когда деформирование металла, уже имеющего пластическую деформацию OB , происходит по кривой $OABE$ и наоборот. С увеличением количества циклов нагружения происходит постепенное накопление пластических деформаций.

На рис. 1, *б* изображен процесс накопления деформаций в течение трех циклов. Отрезок ag соответствует величине макропластической деформации образца после снятия нагрузки.

Результатами действия повторно-переменных напряжений при малоциклового нагрузке труб, бывших в эксплуатации, является страгивание трещин и последующее их развитие, приводящее к нарушению сплошности трубы и протечке теплоносителя.

Усталость вызывает накопление пластической деформации вследствие изменения эксплуатационных нагрузок и температуры труб.

В РД 10-400-01 рекомендуется использовать при расчете предварительно изолированных трубопроводов температурную историю, составленную на основании экспериментальных данных (табл. 1).

Табл. 1. Температурная история трубопровода

Интервал времени	Перепад температуры $\Delta T_i, ^\circ C$	Количество циклов N_{oi}		
		в интервале времени τ	в год	за весь срок службы
Каждый год	130	1	1	30
Каждый месяц	65	2	24	600
Каждая неделя	32,5	4	208	5200
Каждый день	16,25	8	2920	73000

Общее количество циклов за нормативный срок службы трубопровода составляет порядка $8 \cdot 10^4$, что может вызвать разрушение даже новых труб. Бывшие в употреблении трубы уже прошли начальные процессы накопления повреждений и образования микротрещин. В новых жестких условиях напряженного и температурного нагружения завершающая стадия усталостного процесса развивается ускоренно.

Присутствие воды отрицательно сказывается на долговечности трубопроводов. В этом случае усталостная трещина зарождается и развивается при наличии меньших напряжений по сравнению с усталостным нагружением на воздухе. Разрушение происходит при меньшем количестве циклов нагружения. Это связано с тем, что под действием переменных напряжений разрушаются защитные пленки на поверхности металла, появляются новые анодные участки, сообщается дополнительная энергия и электродный потенциал некоторых участков становится более электроотрицательным.

При коррозионной усталости предел выносливости сталей мало зависит от их статической прочности и составляет 120-180 МПа. Более того, при коррозионно-усталостном разрушении отсутствует истинный предел выносливости, значение которого определяется горизонтальным участком на диаграмме выносливости для испытаний на воздухе.

Разрушение металла при коррозионной усталости происходит в несколько этапов. Сначала под воздействием переменной нагрузки напряжения в металле увеличиваются, существующая в ранее использованных трубах неоднородность внутренней поверхности усиливается и начинается местная коррозия. Далее коррозионные повреждения развиваются в субмикротрещины и микротрещины. Совокупность коррозионных, механических, сорбционных процессов определяет механизм разрушения металла трубопроводов. Затем одна из микротрещин переходит в макротрещину, которая в течение некоторого периода времени увеличивается до своих критических размеров. Рост трещин ускоряется тем, что в них попадает вода и образуются микрогальванические пары. Стенки трещины в период цикла сжатия трутся друг о друга, разрушая защитные пленки. После этого наступает стремительный рост трещины и лавинообразное разрушение металла.

Заварка повреждений труб от местной коррозии создает неоднородность структуры и приводит к появлению остаточных сварочных напряжений. При этом процесс накопления повреждений ускоряется.

Попытка восстановить свойства бывших в употреблении труб низкотемпературной обработкой за счет процессов возврата и рекристаллизации не решает задачу восстановления начального ресурса, поскольку при термообработке не устраняются механические повреждения и усталостные микротрещины.

3. Проверка соответствия труб стандартам для исключения использования бывших в употреблении труб в трубопроводах ППУ

Предварительно изолированные трубы относительно дороги из-за высокой стоимости комплектующих. Основную долю в себестоимости занимает стальная труба, далее следуют полиэтиленовая оболочка, пенополиуретановая теплоизоляция, прочие комплектующие — центраторы, заглушки, медные провода (рис. 2).

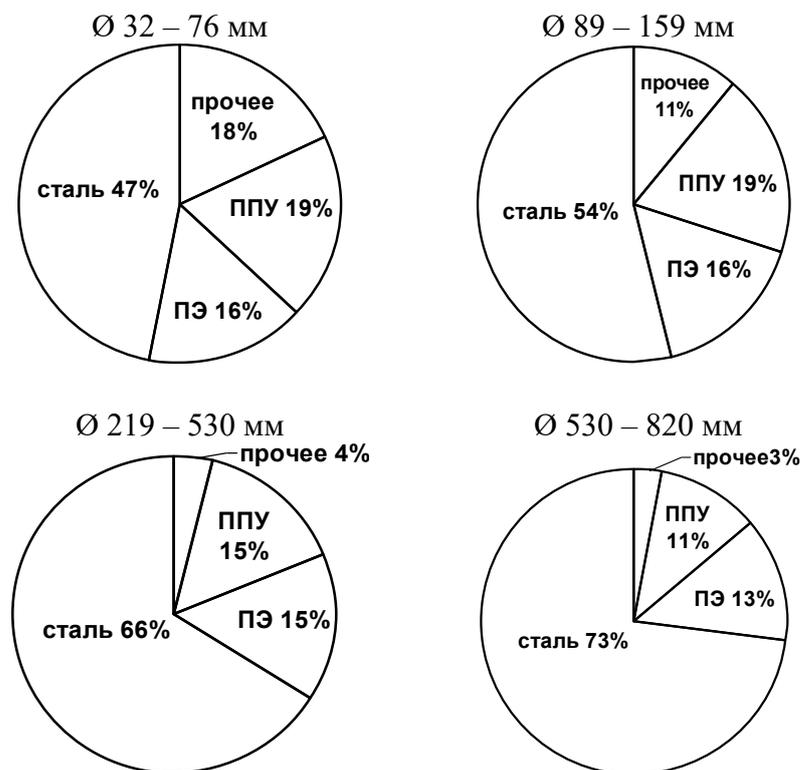


Рис. 2. Структура затрат на приобретение комплектующих для изготовления труб ППУ разных диаметров: сталь — стальная труба; ПЭ — полиэтиленовая оболочка; ППУ — пенополиуретановая теплоизоляция; прочее — центраторы, заглушки, медные провода

С увеличением диаметра трубы доля стальной трубы в стоимости комплектующих возрастает, поэтому некоторые производители предварительно изолированных труб с пенополиуретановой теплоизоляцией в полиэтиленовой или стальной оцинкованной защитной оболочке ориентируются на использование стальных труб, бывших в эксплуатации на нефте-газопроводах, и выведенных из эксплуатации в связи с переходом в предельное состояние, при котором дальнейшая эксплуатация трубопровода и восстановление его работоспособного состояния невозможны, либо нецелесообразны по техническим или экономическим причинам. Кроме того, использование бывших в эксплуатации труб является прямым нарушением законодательства и при авариях крупного масштаба эксперты выявляют причины и ответственных за предусмотренные в этой работе последствия незаконного приобретения и использования бывших в употреблении стальных труб [5].

Проверка качества и соответствия стандартам стальных труб может быть документальной, с использованием визуально-оптического контроля и исследования свойств металла.

При документальной проверке для исключения приобретения и использования бывших в употреблении стальных или труб ППУ изучают сертификаты качества. Сверяют маркировку на трубах (номера труб, партии, плавки), их длину и массу со сведениями сертификата. При необходимости на заводе-изготовителе можно узнать, указав дату отгрузки, номер вагона и другие сведения из сертификата, производились ли на предприятии данные трубы. Ответ может быть и отрицательным, поскольку сертификаты могут быть поддельные.

Визуально-оптический и измерительный контроль заключается во внешнем осмотре и обмере свободных от гидроизоляции участков трубы и разделки торцов под сварку. Для визуально-оптического контроля используют лупы 4-7 кратного увеличения. Обмер трубы производят штангенциркулями и линейками.

При визуально-оптическом контроле и обмере выявляют характерные признаки,

отличающие новые стальные трубы от бывших в употреблении. Основные признаки следующие:

- следы заварки дефектов и абразивной обработки;
- следы зачистки локальных дефектов (коррозионных повреждений);
- состояние наружной и внутренней поверхности труб: на новых трубах имеется металлургическая окалина, состоящая преимущественно из FeO, серо-голубого цвета, на старых — слой пластовой ржавчины;
- многочисленные поры и подрезы в районе продольного шва;
- следы песко- или дробеструйной обработки поверхности для скрытия следов гидроизоляции и коррозии;
- «свежая» маркировка, отсутствие логотипа завода-изготовителя;
- овальность трубы по торцам;
- искривленность трубы по длине;
- раструб на торце вследствие раздачи для перехода на другой диаметр;
- «свежая» обработка торцов трубы (фаска);
- зачистка внутреннего грата на длину менее 150 мм от торца трубы.

Фактическое состояние материала стенок (микрповреждаемость) при визуальном-оптическом контроле не выявляется. Для этого необходимы испытания на растяжение, статический и ударный изгиб, измерение твердости, металлографический анализ.

Выводы

1. Накопление в стальных трубах, бывших длительное время в эксплуатации на газопроводах, структурных изменений и повреждений механической, физической и коррозионной природы приводит к снижению пластичности, термоциклической долговечности и сопротивления хрупкому разрушению. Остаточный технический ресурс таких труб не гарантирует надежность в сложных условиях эксплуатации теплотрасс и не обеспечивает нормативную долговечность трубопроводов, построенных из бывших в употреблении труб, исчерпавших ресурс работы в менее тяжелых условиях эксплуатации.

2. Заварка коррозионных повреждений на трубах, бывших в эксплуатации, приводит к химической, структурной неоднородности, высокому уровню остаточных сварочных напряжений и способна активизировать коррозионные процессы, снизить термоусталостную долговечность и сопротивление хрупкому разрушению.

3. Экономические, технические и юридические риски строителей и эксплуатационников трубопроводов ППУ с использованием бывших в употреблении стальных труб, полностью исчерпавших технический ресурс в нефте- и газопроводах и снятых поэтому с эксплуатации, не оправдывают относительно небольшой выигрыш в отпускной цене, выгоду от продажи получает недобросовестный производитель нестандартных труб ППУ.

Литература

1. Неверов, А.С. *Коррозия и защита материалов: учеб. пособие* / А.С.Неверов, Д.А.Родченко, М.И.Цырлин.- Минск: Вышэйшая школа, 2007.- 222 с.

2. Капцов, И.И. *Технология ремонта газопроводов под давлением* / И.И.Капцов, В.П.Гончар, В.Г.Топоров, В.И.Холодов // *Сварщик*. - 2004.- № 4 (44).- С.6-8.

3. Хромченко, Ф.А. *Ресурс сварных соединений паропроводов* / Ф.А.Хромченко.- М.: Машиностроение, 2002.- 352 с.

4. Стеклов, О.И. *Надежность магистральных газопроводов в условиях интенсификации процессов коррозии и старения* / О.И.Стеклов // *Сварочное производство*.- 2010.- №5.- С.40-43.

5. *Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды*. М.: НПО ОБТ, 1994.