

Композитные материалы: конкретные примеры применения для ремонтных работ на трубопроводах

Эндрю Дж. Патрик: Вице Президент по продажам, Clock Spring Company, L.P

Composites: Case studies of pipeline repair applications

Andrew J. Patrick: Vice President Sales, Clock Spring Company, L.P.

Краткий обзор

Композитные материалы применяются в сфере транспортных трубопроводов уже более 20 лет при текущих ремонтах и для усиления участков стенки трубопроводов, ослабленных воздействием коррозии. Большинство общепризнанных международных стандартов по ремонтным работам, например, ASME B31.4 и B31.8, допускают использование композитных материалов для таких видов ремонта.

Большинство операторов нефте- и газопроводов знакомы с композитными материалами и теми преимуществами в техническом и коммерческом плане, а также в области охраны здоровья и окружающей среды, которые обеспечивает их применение. Цель настоящей статьи - представить новые виды ремонтных работ, при которых могут использоваться композитные материалы, а также дать примеры их практического применения для конкретных видов работ. Что такое композитный материал и как он применяется в ремонтных работах? По общему определению, композитный материал представляет собой комбинацию двух или более материалов с взаимосоиливающим эффектом. Точнее сказать, композитные материалы обеспечивают высокопрочное усиление в форме волокон, объединенных вместе и скрепленных цементирующей средой, обычно - термоотверждающимся полимером. Наиболее часто используемым высокопрочным волокнистым компонентом является стекловолокно.

Устранение дефектов трубопроводов с помощью композитных материалов производится путем распределения кольцевой нагрузки в стенке трубы. Хотя сталь все еще будет подвергаться пластической деформации, ее степень будет ограничиваться наружным бандажом из композитного материала, что обеспечит безопасность трубопровода при максимально допустимом рабочем давлении.

Стандартный и эффективный метод ремонта с применением композитных материалов предусматривает использование трехкомпонентной системы, включающей:

- Композитная структура.
- Связующее вещество для сцепления композитного материала с трубой и каждым последующим витком изоляционной ленты
- Наносимый на зону дефекта состав для передачи нагрузки, имеющий высокую прочность на сжатие.

На **Рис. 1** показана методика ремонта ClockSpring®. Примеры практического применения композитных материалов для ремонтных работ

1. External corrosion.

Коррозионный элемент может воздействовать на трубопровод не только через землю, но и через воздух. На нефтеперерабатывающем заводе в США были обнаружены значительные коррозионные повреждения (с потерей металла до 80%) на 12" (300 мм) трубопроводе, вызванные переносом воздушными потоками влаги из градирни (**Рис. 2**) Общая длина пораженных участков составляла более 900 футов (270 м).

Применение стандартных технических решений для устранения этой проблемы потребовало бы значительных усилий, включая: получение разрешения на огневые работы, изменение графика поставок продукции, а также решения многих других вопросов техники безопасности и охраны окружающей среды в связи с близким расположением оборудования нефтепереработки с трубопроводами другой продукции.

Логической альтернативой стало усиление с помощью композитных материалов. Применение методики ремонта с использованием композитных материалов позволило устранить ►►

ABSTRACT

Composite repairs have been utilised within the transmission pipeline industry for over the past 20 years for the permanent repair and reinforcement of sections of the pipe wall which have been weakened due to corrosion. Most internationally recognised repair codes such as ASME B31.4 and B31.8 accept the use of composites for this repair function.

Most internationally recognised repair codes such as ASME B31.4 and B31.8 accept the use of composites for this repair function. Most oil and gas pipeline operators are familiar with composites and the health, safety, technical and commercial benefits they provide. The purpose of this paper is to introduce new areas of repair applications where composites can be used and to provide case studies for these particular repair functions.

What is a composite repair and how does it work?

A general definition of a composite is a synergistic combination of two or more materials. More specifically, composites comprise high strength reinforcement in fibrous form, incorporated into and bonded together by a matrix, usually a thermosetting polymer. The most common strength fibrous component used is glass.

Composite repairs for pipeline defects work by haring the hoop load in the pipe wall, although the steel will still yield the yielding rate will be controlled by the externally applied composite sleeve so that the maximum allowable operating pressure (MAOP) can be safely maintained.

A typical and effective composite repair is a three component system consisting of:

- The composite structure.
- An adhesive system used to bond the composite to the pipe and to each successive layer of the applied wrap.
- A high compressive strength load transferring compound applied into the defect. (**Figure 1**) shows a Clock Spring composite repair.

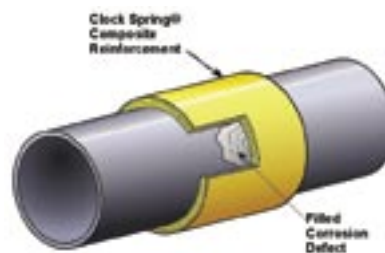


Рисунок 1 – Figure 1

1. External corrosion.

A corrosion cell can find its way to a pipeline not only through the ground but also by air. A refinery in the USA had major external corrosion (up to 80% metal loss) on a 12" (300 mm) pipeline caused by airborne drift from a cooling tower (**Figure 2**). The total length of the effected area was in excess of nine hundred feet (270 metres).

A conventional solution to this problem would have incurred serious challenges such as: hot work permits, re-scheduling of products and many other environmental and safety concerns due to the close proximity of process equipment and other product pipelines. ►►

FURMANITE предлагает следующие услуги

- Работы по герметизации и устранению утечек
- Специальные работы на действующем трубопроводе
 - Врезка под давлением
 - Установка цементированных тройников
 - Изоляция трубопроводов
 - Изоляция секций трубопроводов заморозкой
- Технология FurmaSeal
 - Самоуплотняющиеся ремонтные хомуты
 - Концевые соединительные элементы трубопроводов
- Механическая обработка деталей на объекте
- Проверка задвижек во время работы по методике Trevitest
- Обучение



Высокая компетентность - залог эффективных технических решений на месте

Furmanite - компания с мировой репутацией в области технических услуг - обеспечивает своих заказчиков быстрыми и надежными техническими решениями на основе собственных передовых технологий, способствующими оптимизации продуктивного времени и повышению эффективности работы заказчика. Furmanite помогает заказчикам добиваться значительных преимуществ при разработке месторождений и эксплуатации трубопроводов в Каспийском регионе и на территории России.

Мы предлагаем уникальные специализированные методики сервисных и ремонтных работ на трубопроводах, не требующих их остановки, включая устранение утечки в трубопроводе под давлением, врезку под давлением, позволяющую избежать простоя при ремонте или модификации трубопровода, а также специальные аварийные зажимы Furmaseal для остановки протечек и восстановления целостности трубопровода. Добавьте к этому возможность качественной механической обработки с самыми строгими допусками, а также испытания работающих задвижек по технологии Trevitest, и вам станет понятно почему наши услуги так востребованы в этом регионе.

Кроме того, мы используем наш богатый опыт при разработке и внедрении эффективных технических решений в тесном сотрудничестве с местными партнерами, а также повышая квалификацию местных специалистов с помощью сертифицированных в отрасли программ обучения. Такой опыт совместной работы был нами успешно внедрен в Баку. Все это позволяет нам добиваться успеха при создании и совершенствовании инфраструктуры обслуживания объектов нефтегазового комплекса в Центральной Европе.

Позвоните нам прямо сейчас, и мы используем весь наш богатый опыт для успешной работы ваших объектов.

Furmanite International Limited

Furman House, Shap Road, Kendal, Cumbria
LA9 6RU Tel: +44 (0)1539 729009 Fax: +44 (0)1539 729359
E-mail: infouk@furmanite.com

FURMANITE™

Максимальный срок службы

www.furmanite.com

A Xanser company

необходимость в огневых работах и остановке трубопровода, а также риски для окружающей среды. Кроме того, ремонтные работы могли проводиться в зонах с очень небольшими расстояниями до расположенного рядом оборудования и соседних трубопроводов.

Всего с применением композитного материала было устранено 903 дефекта со средней производительностью 75 - 100 дефектов в сутки при использовании трех ремонтных бригад по два человека в каждой.

Вышеуказанные ремонтные работы проводились как на прямых участках трубопроводов, так и на коленах 45° и 90° (**Рис. 3 и 4**).

Используемый для ремонтных работ композитный материал обеспечивает не только эффективное постоянное усиление, но и коррозионную защиту трубопровода от воздействия непрерывно распространяющихся из градирни влаги и пара. Являясь эффективным способом текущего ремонта с 50-летней гарантией, усиление с помощью композитных материалов обеспечивает такую долговечность трубопроводов, которая превышает расчетный срок службы нефтеперерабатывающего завода.

2. Ремонтные работы изогнутой секции в условиях высокой температуры.

В связи с проседанием платформы было обнаружено, что по мере погружения нескольких секций райзера образовались значительные коррозионные повреждения над первоначально предполагавшейся зоной периодического смачивания с антикоррозионной защитой. Возможность замены секций райзера рассматривалась, но была отвергнута, так как вызвала бы две большие проблемы: остановку платформы и связанные с этим значительные потери продукции, и длительное ожидание поставки секций для замены поврежденных, в связи с тем, что зоны поражения находились на пространственно изогнутых секциях (**Рис. 5**).



Рисунок 5 – Figure 5

Рисунок 6 – Figure 6

При изучении возможности ремонта с применением композитных материалов было выявлено три проблемных момента:

1. В райзере находилась горячая нефть, и его рабочая температура была 70°C.
2. Необходимо было обеспечить доступ персонала к месту ремонтных работ и его безопасность.
3. Необходимость заключения в оболочку всей изогнутой секции.

Все эти проблемы были учтены при разработке программы проведения ремонтных работ:

1. Были использованы связывающий состав, наполнитель и резиновая матрица, способные выдерживать постоянную рабочую температуру до 84°C.
2. Используемый композитный материал легок и прост в обращении, и ремонтные работы могут проводиться двумя специалистами с использованием страховочного снаряжения, без необходимости применения оборудования для подъема тяжелых грузов или для специализированных монтажных работ. Монтаж оболочки из композитного материала проводился летом во время отлива с самым низким уровнем воды.
3. Были разработаны многослойные усиливающие секции из композитного материала и встроены в бандаж для соответствия радиусам изгибов. Затем был установлен наружный слой композитного материала, полностью заключающий в оболочку первый слой (**Рис. 6**).

Ремонтные работы на каждом райзере были выполнены в течение 3 дней. Эксплуатация райзеров продолжалась в течение всего периода ремонтных работ. Другим важным преимуществом этого способа ремонта было отсутствие риска воздействия на окружающую среду, которые потенциально



Рисунок 2
Figure 2

A composite reinforcement provided a logical alternative. Use of a composite repair eliminates the need for hot work, shut down of the pipeline, environmental exposure and the repairs could be installed within the tight clearances available.

In total 903 composite repairs were installed at a rate of 75 to 100 units per day using three x two man installation crews. The repairs included straight pipe lengths as well as 45° and 90° degree elbows (**Figures 3 and 4**).

The composite repair not only provides proven permanent reinforcement but also corrosion protection to the pipeline from the effects of the continual airborne drift and vapour from the cooling towers. As a proven 50 year permanent repair the extended life of this pipeline now exceeds the expected life of the refinery.



Рисунок 3 – Figure 3

Рисунок 4 – Figure 4

2. Bend and High Temperature Repair.

Due to platform subsidence it was found that as a number of risers were slowly sinking significant corrosion had developed above the original corrosion protection of the initial splash zone.

Replacement of the riser sections was considered but would have incurred two major problems, one a shut down of the platform and substantial production loss and secondly lengthy deliveries of the replacement section as the effected areas were on 3-D bend sections (**Figure 5**).

Composite repairs were considered but introduced three areas of concern:

1. These are hot oil risers operating at up to 70°C.
2. Access and personnel safety considerations.
3. Encapsulating of the complete bend section.

A composite repair was engineered to accommodate all these problems:

1. Adhesive, filler and resin matrix chemicals were used that can withstand constant operational temperatures of up to 84°C.
2. The repair composite is lightweight and easily handled allowing installation to be made using two operators and abseil techniques without the need for heavy lifting or specialised installation equipment. The installations were performed in the Summer and at the time of the lowest astronomical tide.
3. The composite reinforcement laminate sections were engineered and cut into bands to suit the bend radius. An outer layer of composite was then installed to completely encapsulate the first layer (**Figure 6**). The repairs on each riser were completed within 3 days from start to finish with the riser remaining in operation for the duration of the installation process. Another significant advantage of this repair was the elimination of all environmental concerns which can occur with the potential of hydrocarbon exposure to the environment when risers are removed from service.

3. Mechanical Damage.

During routine excavation of a water line the excavator accidentally hit a neighboring 20" (500 mm) main gas line situated on the outskirts of Dubai in the U.A.E. The excavator had "caught" the pipeline in three locations causing three significant gouges. As the pipeline is the main

существовал из-за возможности попадания углеводородов в окружающую среду при демонтаже поврежденной секции райзера.

3. Устранение механических повреждений.

При производстве плановых работ по выемки грунта на водяном трубопроводе на окраине Дубая (ОАЕ), экскаватор случайно зацепил расположенный рядом магистральный газопровод диаметром 20" (500 мм). Экскаватор зацепил газопровод в трех местах, что привело к образованию трех больших вмятин. Поскольку газопровод использовался для подачи газа на местную электростанцию, важным фактором являлась непрерывность его эксплуатации. Стояла середина лета с температурой свыше 50°C – период максимального потребления электроэнергии.

Было проведено большое количество исследований по определению возможности использования композитных материалов для текущего ремонта механических повреждений и привлечения сторонних организаций для выполнения ремонтных работ. Результаты исследований показали возможность осуществления ремонта с применением композитных материалов при условии выполнения следующих операций:

- Царапину или вмятину необходимо зашлифовать до образования гладкого контура, для удаления всех концентраторов напряжения. Максимально допустимая глубина шлифовки составляет 40% толщины стенки.
- Провести визуальный контроль зоны повреждения для проверки отсутствия трещин, которые должны были быть устранены шлифовкой.
- Оставшаяся часть вмятины заполняется отверждающимся наполнителем для перераспределения нагрузки после установки банджа из композитного материала.

На **Рис. 7** показан участок трубопровода после механической обработки вмятин и визуального контроля. Также показан бандаж из композитного материала перед установкой на участок с механическим повреждением. Ремонт всех трех повреждений был выполнен за 1 1/2 часов (**Рис. 8**). При этом, эксплуатация газопровода и подача электроэнергии в Дубай не прекращались.

4. Устранение протечек.

В Эль-Сегундо, штат Калифорния, были обнаружены утечки в нескольких местах на трубопроводе диаметром 24" (600 мм) для разгрузки танкеров с сырой нефтью в емкости основного резервуарного парка.

Рабочее давление трубопровода -22 бар (300 psi). Максимальная ширина пространства для доступа к трубопроводу составляла с каждой стороны по 6" (150 мм). Выполнение огневых работ было невозможно, а подготовку поверхности можно было выполнять только с помощью приводной щетки. Кроме того, необходимо было произвести ремонт за 24 часа для возможности срочной разгрузки танкера.

Были проведены многочисленные испытания композитных материалов в лабораторных и полевых условиях, с целью изучения возможности их использования для устранения утечек на трубопроводе.

Перед выполнением работ по устранению утечек, в соответствии с требованием техники безопасности необходимо сбросить давление в трубопроводе до нуля.

Рис. 9 / Рис. 10. После этого место утечки было закрыто заглушкой, и производилась очистка поверхности трубы. Для герметизации заглушки использовалась металлополимерная паста (МПП) и зажим, после чего ожидали, пока состав затвердеет. После того, как через 20-30 мин. состав затвердел, можно было устанавливать бандаж из композитного материала.

Рис. 11. Применение композитных материалов способствует снятию дополнительного кольцевого напряжения от устранения утечки, защите от коррозии и предохранению всей зоны герметизации от внешних воздействий (**Рис. 12**).

Данные испытаний зон с устраненными утечками диаметром до 1 дюйма (25 мм) на трубопроводах с рабочим давлением до 80 бар (1100 psi) показали экстраполированную долговечность отремонтированных участков - свыше 20 лет.

По сравнению со стандартными бандажми для устранения утечек, бандаж из композитных материалов обеспечивают следующие преимущества: ►►

supply to a local power station it was critical the pipeline remained in operation, it was mid Summer with temperatures in excess of 50°C and a peak period for electricity supply. A large number of studies have been conducted concerning the suitability of composites for the permanent repair of mechanical damage and third party interference. The results of these studies have shown that composite repairs are acceptable providing the following steps are taken:

- The scrape or gouge is ground to a smooth contour to remove all stress concentrators. The maximum safe depth of grinding is 40% of the wall thickness.
- The damaged area is inspected to verify that any cracks have been removed by grinding.
- The residual indentation is filled with a hardenable filler for load transfer under the composite sleeve.

Figure 7 shows the pipeline after the gouges have been dressed and inspected. A composite sleeve is shown prior to being installed.



Рисунок 7 – Figure 7



Рисунок 8 – Figure 8

The three repairs were completed within 1 1/2 hours (**Figure 8**) with the pipeline remaining in operation and the electricity supply to Dubai maintained.

4. Leak Repairs.

El-Segundo - California, a 24" (600 mm) crude oil, tanker offload pipeline used to supply a major tank farm was found to be leaking in several locations. When operating the pipeline pressure is 22 Bar (300 psi). Access either side of the pipeline was a maximum of 6" (150 mm). No hot work was possible and the surface preparation could only be made using a power brush system. In addition the repairs had to be made within 24 hours to allow an urgent tanker delivery to be off loaded. Composites have undergone a large amount of laboratory and in-field testing for leak repair applications.

For a leak repair to take place it is a requirement for health and safety reasons to remove the pressure from the pipeline. Once done the residual leak can be plugged (**Figures 9 and 10**) and the pipe surface cleaned. To seal the plug a metal polymer paste (MPP) is applied and clamped in place and allowed to cure (**Figure 11**). Once the MPP has cured (20 -30 minutes) the composite can be installed.

The application of the composite helps to remove additional hoop stress from the leak repair, can reinforce associated corrosion and protects the overall repair from external interference (**Figure 12**). ►►



Рисунок 9 – Figure 9



Рисунок 10 – Figure 10



Рисунок 11 – Figure 11



Рисунок 12 – Figure 12

- устраняют необходимость использования уплотнений;
 - могут использоваться для ремонта трубопроводов с переменным наружным диаметром;
 - имеют небольшой вес и легко устанавливаются;
 - имеются в наличии для немедленной отгрузки.
- Ремонт 7 участков в Эль-Сегундо был произведен за 4 часа, что позволило обеспечить своевременную разгрузку танкера (Рис. 13 и 14).

5. Дефекты кольцевого сварного шва.

Во время диагностики газопровода диаметром 20" (500 мм), расположенного на территории Польши, с использованием внутритрубного снаряда был обнаружен ряд отклонений, связанных с большим числом кольцевых сварных швов. В ходе дальнейшей дефектоскопии кольцевых швов были выявлены их следующие дефекты: непроварка по кромке стенки, пористость шва и нецентровка стенок труб. Был проведен ряд испытаний в США и Восточной Европе для подтверждения возможности использования композитных материалов при выполнении соответствующих ремонтных работ.

Испытания проводились на ряде секций труб, снятых с эксплуатируемого газопровода, на которых были обнаружены дефекты кольцевых швов, которые были достаточно серьезными чтобы исключить возможность продолжительной эксплуатации трубопровода при максимально допустимом рабочем давлении (МДРП). На Рис. 15 приведены результаты опрессовки неотрмонтированных секций с дефектными швами. Бандажи из композитного материала устанавливались на другие имевшиеся опытные образцы, после чего проводились испытания на усталость и опрессовка. Во всех случаях, повреждение трубы при испытаниях происходило за пределами зон, в которых выполнялся ремонт (Рис. 16), на основной стенке трубы и при уровнях давления значительно превышавших допустимое рабочее давление трубопровода.

Результаты проведенных испытаний позволили использовать композитные материалы для усиления кольцевых швов при ремонтах трубопроводов в странах Восточной Европы и СНГ (Рис. 17).

Применение композитных материалов не может решить всех проблем. Тем не менее, значительное количество времени и ресурсов используется на проведение испытаний и исследования с целью разработки эффективных технологий для применения в новых видах ремонта трубопроводов. Новые технологии ремонта, в свою очередь, позволят обеспечить трубопроводную отрасль во всем мире необходимыми техническими решениями и высоким уровнем эксплуатационной безопасности.

Использование композитных материалов для ремонта трубопроводов обеспечивает следующие преимущества: повышение уровня безопасности, экономию времени и средств благодаря исключению необходимости вырезания дефектных кольцевых швов или выполнения ремонта с установкой длинных трубчатых кожухов из эпоксидного состава, которые обычно и использовались ранее в таких случаях.

Выводы

Технология ремонта напорных трубопроводов с использованием композитных материалов доказала свою высокую эффективность. На сегодняшний день, специалистами компании Clock Spring было выполнено более 100000 ремонтов в 62 странах мира. Обнаруженные на трубопроводах дефекты могут быть полностью устранены с помощью технологии ремонта с композитным материалом, обеспечивающей более высокий уровень безопасности, а также большую экономию времени и средств чем любая другая методика ремонта. Сфера применения данной технологии постоянно расширяется и включает следующие виды ремонта:

- ремонт внутренних и внешних дефектов
- устранение изгибов
- ремонт сварных швов
- механические повреждения и различные воздействия
- опоры трубопроводов
- заводские дефекты
- ремонт в условиях высокой температуры трубопровода
- ремонт при отрицательных температурах
- усиление конструкции
- остановка распространения трещины
- ремонт коррозионных повреждений. ■

Test data on up to 1" diameter (25 mm) defects operating at pressures of up to 80 Bar (1100 psi) have provided extrapolated repair life data of in excess of 20 years. Compared to traditional leak repair clamps, composites:

- eliminate the need for seals;
- can easily accommodate variations in the pipe outer diameter;
- are lightweight and easy to install;
- are available for immediate delivery.

In El-Segundo a total of 7 repairs were completed within 4 hours and the crude shipment offloaded on time (Figures 13 and 14).



Рисунок 13 – Figure 13

Рисунок 14 – Figure 14

5. Girth Weld Defects.

An MFL intelligent pig survey of a 20" (500mm) gas pipeline in Poland located a series of anomalies associated with a large number of girth welds. Further inspection of the girth welds identified the defects as being associated with the weld and included anomalies such as: lack of side wall fusion, porosity, pipe wall misalignment. Within the USA and Eastern Europe a number of test programs were instigated to confirm the suitability of composite repairs for this application.

Tests were conducted on a number of pipe sections removed from operating gas lines where defects had been located in the girth welds which were of a serious nature to preclude continual operation of the pipelines at their MAOP. Figure 15 shows the results of a pressure test on an un-repaired girth weld section.

Composite repairs were installed on the other available test pieces and subjected to a series of fatigue and pressure tests. In all instances failure of the pipe occurred outside of the repair area (Figure 16) in the main wall of the pipe and at pressures significantly higher than the pipeline MAOP.



Рисунок 15 – Figure 15

Рисунок 16 – Figure 16

Following the results of this test work composite repairs have now been used in considerable numbers for girth weld reinforcement in areas such as Eastern Europe and the Former Soviet Union (Figure 17).



Рисунок 17
Figure 17

Again the composite repair provides many: safety, time and commercial advantages by eliminating either cut outs of the defect girth weld or installation of long length epoxy shell repairs which have typically been used for this application.

Composites are not the solution to all problems. However significant amounts of time and resources are still being applied to test and research programs to provide proven solutions for new repair applications. These will in turn provide the worldwide pipeline community with the correct answers and operational security required. ■