

**Применение композитных материалов при бестраншейном
производственном восстановлении трубопроводов**

Можаровский В. В.¹, Василевич Ю. В.², Неумержицкая Е. Ю.³,
Киргинцева С. В.¹

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
Гомель, Республика Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет,

³Академия образования
Минск, Республика Беларусь

Изложены методики применения высокопрочных полимерных рукавов по ремонту труб без проведения земляных работ и расчету давления жидкости на конструкционные элементы из композита. Результаты работы могут найти применение в производстве труб из композита, используемых в транспортном машиностроении, теплоэнергетике, строительстве и других отраслях.

В настоящее время наряду с традиционными материалами интенсивно разрабатываются искусственные материалы – так называемые композиты. К их числу относят гетерогенные материалы, состоящие из не менее двух фаз. Композиты можно охарактеризовать как определенную комбинацию разнородных материалов, обладающих специфической структурой и геометрической формой. При создании композита стремятся реализовать наивысшие эксплуатационные характеристики материала, недостижимые при использовании каждого из компонентов в отдельности. Довольно часто удается получить композиты с уникальными структурами, формами и свойствами, которые значительно превосходят свойства компонентов.

Текстильные композиты представляют комбинацию полимерного связующего и системы волокон или нитей, либо с тканью, полученной текстильными методами. Текстильные композиты могут быть гибкими (надувные плоты, конвейерные ленты и т. п.) и жесткими. Многие системы волокнистых армированных пластиков являются жесткими текстильными композитами. Эти материалы появились в качестве заменителей металла и дерева. С тех пор волокнистые армированные пластики широко применяются для изготовления внешних и внутренних деталей кузовов автомобилей, фюзеляжей летательных аппаратов, корпусов судов, труб, элементов строительных конструкций и т. п.

Непропитанные волокнистые материалы (волокно, нити или ткани), образующие определенную плоскую или пространственную структуру,

называют текстильными армирующими каркасами. Текстильные каркасы различаются ориентацией волокон, видом переплетения и геометрическими параметрами. Строение текстильного каркаса может изменяться в широком диапазоне от простого плоского листа до сложной пространственной много направленной структуры.

При проектировании текстильного конструкционного композита выбор исходных материалов и технологии получения композита должен соответствовать требованиям, предъявляемым к свойствам композита, производительности процесса и его стоимости.

Важную роль в пластике играет характер и ориентация расположения наполнителя в матрице, приводящие к анизотропии свойств композита. Анизотропия стеклопластиков (конструктивная анизотропия) оказывается еще одним регулируемым параметром, дополнительной степенью свободы при конструировании полимерных материалов и конструкций на их основе. Другим преимуществом перед обычными изотропными материалами является эффективное управление анизотропией их механических, теплофизических и других свойств в плоскости армирования. Это дает дополнительные резервы в повышении надежности конструкций, снижении их массы и расширении области применения. Управление анизотропии свойств осуществляется варьированием укладки арматуры.

Появляется возможность формировать свойства материала под конкретную деталь под ее напряженно- деформированное состояние, что обеспечивает повышение несущей способности изделия и приводит к существенному снижению его массы. При этом использование композиционного материала предоставляет возможность широкого выбора исходных композитов и структурных схем армирования, технологических способов формообразования изделия и получения требуемой геометрии поверхности конструкции, что дает большую степень свободы разработчику при проектировании изделий.

На основании разработанных теорий и компьютерных расчетов [1; 2] можно усовершенствовать технологию создания высокопрочных полимерных рукавов для трубопроводов.

Многолетняя эксплуатация трубопроводов неразрывно связана с такими явлениями как коррозия, утечка, разрывы, пренебрежение которых могут вызывать просадки дорог и экологические аварии, что, в свою очередь, имеет социальные последствия. Обслуживание и ремонт подземных трубопроводов чаще всего проводится путем извлечения поверхностных слоев грунта и раскопки. Эти процедуры могут нанести ущерб окружающей среде. Решением этой проблемы могут быть бестраншейные методы восстановления трубопроводов, которые заключаются в ремонте существующих трубопроводов без выемки грунта.

Одним из таких методов является футеровка (технология CIPP, «Cured-in-place pipe») или метод полимеризации на месте трубы [3], процесс использования которой заключается во вставке пропитанной смолой гильзы в изношенный заглубленный трубопровод, расширение хвостовика и закрепление его на месте, используя ультрафиолетовый свет или другие технологии (закачивания горячего воздуха или воды). В результате получается новая труба внутри изношенной трубы. Технология CIPP была впервые разработана британским инженером Эриком Вудом, в 1971 г. получила международный стандарт ISO 9000 [4]. Например, наглядно схема бестраншейного производственного восстановления трубопроводов представлена на рис. 1 [4].

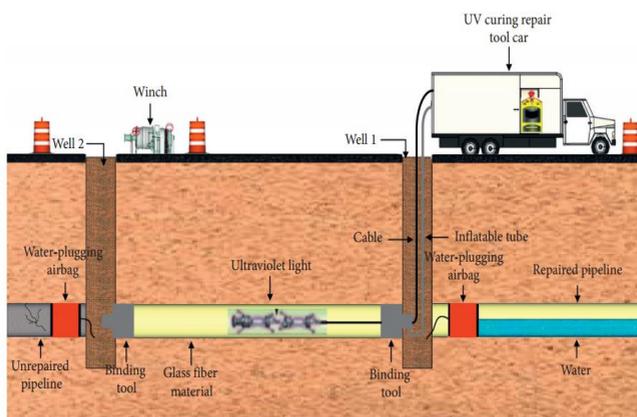


Рис. 1. Новая производственная технология CIPP ремонта трубопроводов [4]

В Беларуси также имеются фирмы, оказывающие такие услуги, например, ООО «ГеоЦентрГрупп» филиал Российской компании (Санкт-Петербург), Компания «ГРАДИСС» обладает собственным оборудованием для производства полимерных рукавов для санации трубопровода. Так, например, в «ГРАДИСС» и «РосПайп» [1–5] используются трехкомпонентный – из пленочного (защитного), армирующего (из синтетического войлока) и раздувочного (из полимерной пленки); предназначен для труб диаметром 150–200 мм; а также четырехкомпонентный – из пленочного (защитного), комбинированного стеклоармирующего полотна, армирующего (из синтетического войлока) и раздувочного (из полимерной пленки); предназначен для труб диаметром от 300 до 450 мм. Из описания технологии компании [1] в основе «изготовления рукава состоит в раскройке стек-

ло-холста до нужной ширины, складывании и прошивке внахлест на рукавной машине (например, японской фирмы «Brotcher»). Диаметр полученной заготовки должен быть меньше диаметра ремонтируемого участка трубы на 1–3 % для избегания складок. В то же время подвижность шва и материала должна обеспечивать плотное прилегание рукава к внутренней стенке трубы. В процессе сшивки армирующего рукава в него помещается прочная капроновая лента. После сшивки рукав свертывается в рулон и поступает на сборку. Сборка включает два этапа: протягивание армирующего рукава в наружный полиэтиленовый и протягивание внутреннего раздувочного рукава в армирующий...». В процессе изготовления и эксплуатации таких реанимируемых труб возникают динамические ударные эффекты, типа гидроудара, которые нужно рассчитать и создать компьютерную программу определения напряженно-деформированного состояния изделий, скорость волны удара. Такие расчеты необходимы для оптимального выбора материала композита с целью предотвращения разрыва, разрушения трубопровода. Дальнейшие разработки найдут применение на предприятиях теплоснабжения и водоканализации Республики Беларусь (Витебскэнерго, Могилевский завод полимерных труб и др.). Кроме того, разрабатываются алгоритмы и программы, реализующие расчет и хранение различных характеристик стальных труб ППУ (водопоглощение, прочность на сдвиг в осевом направлении, прочность на сдвиг в тангенциальном направлении и т. д.) и применения для ПИ-труб.

Предлагаются исследования об определении параметров эксплуатации футерованных труб из современных композиционных материалов согласно новой современной технологии CIPP по ремонту труб без проведения земляных работ. Эта технология достаточно проста и начала широко применяться во всем мире. Суть этой технологии такая же, как было описано ранее, и заключается в том, что в поврежденный участок трубы вводится футеровка из волоконистых композитных материалов со смолой (пропитанная труба, изготовленная из стекловолокна, углеродного волокна или другого пропитанного смолой вещества), которая прикрепляется к трубе под действием давлений воды или пара, и получается новая слоистая отремонтированная труба. Ключевым моментом этой технологии является расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) в сечении трубы с композитной футеровкой и нахождение допустимой толщины покрытия, а также определение скорости волны при гидроударе [6–8].

Методика расчета давления струи жидкости на неподвижную вертикальную пластину из композита (или на внутреннюю поверхность трубы, диаметр которой можно считать обеспечивающим в месте удара жидкости также вертикальную неподвижную поверхность) изложена ниже.

Конечный результат расчета является основанием для оценки прочностных и деформационных характеристик композитного материала, используемого для проектирования и изготовления цилиндрических оболочек (труб). Воспользуемся общей теоремой динамики об изменении количества движения. Предположим, что вода вытекает из брандспойта диаметром d со скоростью v перпендикулярно неподвижной поверхности. За время t_1 количество воды в первоначальном объеме abc переместится в положение $a_1b_1c_1$, рис. 2 [9].

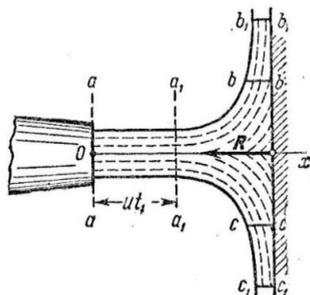


Рис. 2. Перемещение объема воды из положения abc в положение $a_1b_1c_1$ за время t_1

Изменение количества движения упомянутого объема за время t_1 будет равно

$$Q_1 - Q_0 = -mv = -Rt_1,$$

тогда

$$mv = Rt_1 \quad \text{и} \quad R = mv/t_1,$$

т. к. перемещение $aa_1 = vt_1$, то $m = \pi d^2 vt_1 / 4$ и $R = \pi d^2 v^2 / 4$, где Q_1 – количество движения объема жидкости за промежуток времени t_1 , Q_0 – количество движения объема жидкости при $t = 0$; m – масса объема aa_1 ; ρ – масса единицы объема, т.е. плотность жидкости; R – реакция неподвижной поверхности, численно равная искомому давлению. Например, при $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $d = 8 \text{ см}$, $v = 15 \text{ м/с}$, получим $R = 1130,4 \text{ Н}$.

Выводы

Изложены методики применения высокопрочных полимерных рукавов по ремонту труб без проведения земляных работ и расчета давления

жидкости на конструкционные элементы из композита. Результаты работы могут найти применение в производстве труб из композита или другого материала используемых в транспортном машиностроении, теплоэнергетике, строительстве и других отраслях.

Литература

1. Ремонт труб методом санации полимерным рукавом [Электронный ресурс]. – Дата доступа: 10.01.2024.
2. Гидрополимер. Услуги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hydropolymer.by/services/>. – Дата доступа: 10.01.2024.
3. Wave celerity in hydraulic transients computation for cipp-rehabilitated pipes / F. Evangelista [et al.] // Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas. – 2020. – Vol. 8, №4. – P. 326–340.
4. Parameter analysis of wall thickness of cured-in-place pipe linings for semistructured rehabilitation of concrete drainage pipe / F. Hongyuan [et al.] // Mathematical Problems in Engineering. – 2020. – ID 5271027. – P. 1–16.
5. Санация полимерным рукавом (чулком) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.smgbr.ru/articles/sanaciya-polimernym-rukavom-nosti-tehnologii-i-etapy-vosstanovleniya-truboprovoda.html> – Дата доступа:
6. Можаровский, В. В. Напряженно-деформированное состояние слоистых цилиндрических труб / В. В. Можаровский, С. А. Марьин, Н. А. Марьина // Вестник ХНТУ. – 2008. – № 2(31). – С. 304–309.
7. Киргинцева, С. В. Влияние температуры и анизотропии материала на напряженное состояние двухслойных труб, применяющихся при футеровке (технология CIPP) / С.В. Киргинцева // Творчество молодых–2022: сборник науч. работ студентов и аспирантов УО «ГГУ им. Ф. Скорины» / мельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Ч. 1. – Гомель, 2022. – С. 216–220.
8. Ghazaryan, K. B. Shear surface wave propagation in stratified media with slip interfaces / K. B. Ghazaryan; V. V. Mozharovsky; S. V. Sarkisyan; S. K. Ohanyan // International Journal of Materials and Structural Integrity. – 2021. – Vol.14, №2/3/4. – P. 120–126.
9. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М.: Наука, 1974. – 480 с.