



С.Н. Колдаева

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Предложен способ предотвращения нарушения сплошности эпоксидных стеклопластиков в процессе механического нагружения путём формирования на поверхности армирующего наполнителя градиентных структурных слоев, обеспечивающих релаксацию напряжений при термоусадке и облегчающих протекание сдвиговой пластической деформации матрицы. Предложена технология формирования бипластмассовой трубы с модифицированием поверхности стеклонити. Установлена зависимость вида и толщины эластичной промежуточной плёнки на границе раздела фаз на адгезионную прочность эпоксидной смолы к стеклянным волокнам. Предложено новое конструктивное решение и технология изготовления сегментарных отводов для бипластмассовых трубопроводов.

Введение

Современные конструкционные стеклопластики, обладающие высокими удельными показателями жесткости и прочности и сравнительно малым весом, позволяют получать изделия с высоким уровнем потребительских свойств наряду с повышением надежности и безопасности, снижением общих издержек при изготовлении, связанных с затратами материалов, энергии и трудовых ресурсов.

Стеклопластики получили широкое распространение при проектировании сосудов давления и трубопроводов различного назначения. Наиболее распространенной является технология изготовления стеклопластиковых труб путём намотки стеклонити на оправку с последующей пропиткой связующим и отверждением. Для обеспечения требуемой герметичности, стойкости к истиранию в потоке абразивосодержащих сред и химической стойкости изделий на конструкционный стеклопластиковый слой наносят футеровочное покрытие – резину, полиуретан, полиэтилен.

Опыт эксплуатации бипластмассовых труб (стеклопластиковых труб с износостойким покрытием) как элементов транспортной системы в ПО «Беларуськалий» показал, что в условиях знакопеременного силового воздействия (вакуумирование, гидравлические удары, вибрация) нередко наблюдается нарушение целостности и отслаивание футеровочного слоя, особенно в местах стыков и соединений. В результате имеет место непосредственный контакт транспортируемого агента с конструкционным слоем из стеклопластика, вызывающий повышенный износ и нарушение герметичности трубопровода. Поэтому наряду с разработкой способов улучшения адгезионного взаимодействия футеровочного и конструкционного слоев были проведены исследования, направленные на повышение герметичности, износостойкости и химической стойкости конструкционного слоя трубы путём улучшения монолитности системы матрица – армирующие волокна.

Повышение надёжности стеклопластиковых трубопроводов требует решения задачи сохранения целостности конструкции трубы, т. е. обеспечения надёжности сцепления футеровочного и конструкционного слоев. На прямооточных участках трубопровода эта задача успешно решается адгезионным сцеплением слоев. При фланцевом соединении труб конструкция оконцовки трубы предусматривает вывод футеровки под фланец. Таким образом, даже при возможном частичном нарушении адгезионного соединения



герметичность трубы не нарушается. Особенно ответственными участками трубопровода являются стыки и соединения. Предприятия-производители предлагают стандартизированный набор фасонных изделий из стеклопластиков, применение которых позволяет производить соединение труб, как правило, под прямым углом. Однако в условиях реального производства нередко требуется присоединение бокового отвода под произвольным углом к прямооточному трубопроводу. В настоящее время для оформления таких отводов применяется операция вклейки: в сформированную прямую трубу под требуемым углом вклеивают должным образом обрезанный трубчатый элемент. Однако в процессе склейки удается надежным образом соединить только силовые слои труб. Способ надёжного соединения стыкуемых элементов футеровочного слоя до сих пор не найден. В результате ненадежности клеевого соединения элементов футеровочного слоя имеет место задир футеровки, особенно на поворотных участках, где усиливается влияние турбулентности потока. Отслоение футеровочного слоя вызвано силовым действием потока на стенки трубы в осевом направлении. Оценка этого воздействия на основании анализа гидродинамики потока позволила сделать вывод, что требуемая надёжность соединения элементов не может быть обеспечена адгезионно.

Проведённая нами серия исследований была направлена на снижение вероятности разгерметизации силового стеклопластикового слоя бипластмассовых труб во время эксплуатации. При этом исследовались как способы улучшения адгезионного взаимодействия компонентов стеклопластика, так и возможности снижения внутренних напряжений в его объёме.

Исследован также способ конструкционного оформления стыков и соединений трубопровода, позволяющий исключить возможность нарушения адгезионного соединения силового и футеровочного слоев бипластмассовой трубы.

Методы исследований

Статические испытания композитных образцов были проведены в соответствии с ГОСТ 4648-71. Химическая стойкость определялась по ГОСТ-12020-72. В качестве критерия химической стойкости использовали коэффициент диффузии химических реагентов в образец.

Адгезионную прочность связующего к стеклянным волокнам определяли способом, позволяющим исключить вклад напряженно-деформированного состояния образца в разрушающее напряжение [1]. Испытуемый образец, выполненный в виде связующего и размещенного в нём волокна, нагревали до температуры отверждения связующего – T_n , охлаждали до комнатной температуры со скоростью охлаждения 5–20° С/мин, разрушающее напряжение создавали охлаждением образца до температуры ниже комнатной температуры T_o . Характер разрушения и структурно-морфологические особенности соединений исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на растровом электронном микроскопе JSM-50А. Фиксировали температуру T_o , при которой происходило разрушение образца. Прочность сцепления τ определяли по формуле:

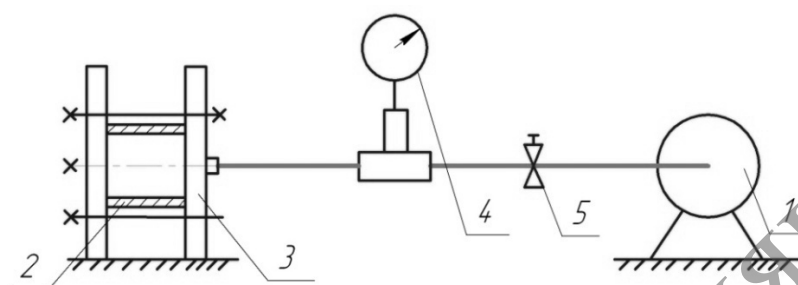
$$\tau = \frac{\Delta\alpha \cdot (T_i - T_o) \cdot E_a \cdot d}{2 \cdot l} \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{E_a \cdot S_a}{E_{\bar{a}} \cdot S_{\bar{a}}}} \right) \text{ Па,} \quad (1)$$

где $\Delta\alpha$ – разность между коэффициентами термического расширения связующего и волокна;



$E_{\dot{a}}$, $E_{\dot{n}\dot{a}}$ – модуль Юнга соответственно волокна и связующего;
 $S_{\dot{a}}$, $S_{\dot{n}\dot{a}}$ – площадь поперечного сечения соответственно волокна и связующего;
 d – диаметр волокна;
 l – длина волокна.

Испытания на герметичность проводили на стенде (рисунок 1).



1 – насос, 2 – цилиндрический образец, 3 – фланцевое соединение,
4 – манометр, 5 – клапан

Рисунок 1 – Схема стенда для испытаний на герметичность

Необходимый напор до 16,0 МПа в образце создавали насосом 1 и фиксировали манометром 4. Образец закрепляли с помощью фланцевого соединения. Герметизация осуществлялась фторопластовыми прокладками. После окончания гидравлического испытания проницаемость образца оценивали на установке УЭВ-1 при разряжении 0,1 МПа. Отказом и потерей герметичности считался поток через трубчатый образец $1,63 \times 10^{-5}$ кг/м²×с.

Результаты исследований и их обсуждение

В литературе наибольшее внимание уделяется изучению адгезии между матрицей и наполнителем и взаимодействия на межфазной границе. Физико-химические процессы, протекающие при формировании структуры материала и ее изменении при эксплуатации, изучены в значительно меньшей степени. Между тем изменение характеристик пластиков при различных видах старения связано именно со структурными изменениями.

Так как армированные пластики, как правило, содержат большое количество наполнителя, можно считать, что последний образует жёсткий скелет, препятствующий деформации полимера. При термоусадке связующее подвергается всестороннему растяжению. Объёмная деформация при этом может достигать нескольких процентов. Таким образом, уже в ненагруженном состоянии полимерная матрица должна выдерживать значительные механические деформации без разрушения и нарушения адгезии на границе с волокном. Как показали микроскопические исследования, значительно лучше других связующих подобные условия выдерживают эпоксидные смолы. Тем не менее в процессе эксплуатации наблюдается нарушение герметичности эпоксидных пластиков. После даже сравнительно небольшого термостарения, не приводящего к значительной потере прочности, может образоваться пространственная сетка трещин, в результате чего материал становится негерметичным, хотя общая доля объёма, занимаемая трещинами, невелика и не может быть обнаружена обычными методами [2]. Образование трещин и потеря герметичности наблюдаются и после механического нагружения эпоксидных стеклопластиков. Напряжение, при котором появляется такая система трещин, зависит от свойств связующего. Склонность к



растрескиванию возрастает с увеличением жесткости полимера и содержания наполнителя. Существенное влияние на свойства армированных пластиков и их поведение в различных средах оказывают поры [3–7], размер и форма которых определяются структурой наполнителя и зависят, главным образом, от формы пространств между волокнами. В эпоксидных пластиках поры, как правило, закрытые, т. е. не образуют непрерывной системы, связанной с поверхностью, поэтому эпоксидные пластики обладают высокой герметичностью и водостойкостью. Однако после того как в пластике после старения или механического нагружения образуется система трещин, герметичность нарушается.

Некоторые исследователи считают, что при армировании силикатным волокном целесообразно формирование на поверхности волокна эластичного промежуточного слоя. В этом случае граничные слои в зоне контакта будут деформироваться без разрушения адгезионной связи между фазами и обеспечивать частичную релаксацию напряжений. Так, в работе [8] показано, что повышение ударной вязкости композитов достигается при нанесении на поверхность наполнителя (стекловолокна) слоя из полиизобутилена или бутадиен-стирольного латекса.

В проведенных нами экспериментах по формированию промежуточного демпфирующего слоя на границе раздела «матрица – волокно» в качестве адгезионных модификаторов в рецептуре композитов применяли поливинилбутираль (ПВБ) марки КА (ГОСТ 9439-73), бутадиенстирольный латекс марки БС-50 (ГОСТ 15080-77), латекс СКД-7С (ГОСТ 11604-79), смесь изомеров аминпропилтриэтоксилана АГМ-9 (ТУ6-02-5-78-75), а также латекс на основе бутадиеннитрильного каучука с содержанием 40% акриловой кислоты.

В результате исследований установлено, что при использовании в качестве наполнителя силикатных (стеклянных, базальтовых) волокон наилучшие результаты достигаются при нанесении на поверхность волокна эластичного слоя поливинилбутираля. Наилучшие показатели адгезионной прочности достигаются при обработке волокна 5%-ым спиртовым раствором поливинилбутираля. При этом толщина пленки эластомера на поверхности стеклонити составляет 1,5–3,6 мкм. При обработке стекловолокна латексом адгезионная прочность несколько ниже, что объясняется, по-видимому, невысокой адгезионной способностью латекса к силикатным волокнам (таблица 1). Это подтверждается и характером разрушения клеек – преимущественно адгезионным для латекса и когезионным по граничному слою или по связующему для ПВБ.

Таблица 1 – Влияние типа и толщины эластичной промежуточной пленки на адгезионную прочность эпоксидной смолы ЭД-20 к стеклянным волокнам

Тип промежуточной пленки	Концентрация, % / толщина пленки, мкм				
	2,5/(1,5)	5,0/(1,5–3,6)	7,5	15	30
	Адгезионная прочность, МН/м ²				
Поливинилбутираль КА	18,2	19,6,	17,5	-	-
Латекс БС-50	-	-	17,2	15,4	12,2
Латекс СКД-1С	-	-	17,7	16,1	14,2

С целью обоснования экономической целесообразности включения операции обработки поверхности волокна эластомером в технологическую цепочку была



исследована кинетика процесса пропитки волокна связующими и адгезионными модификаторами.

В приближении термодинамической теории Дерягина полное время пропитки наполнителя может быть определено по формуле [9]:

$$t = \frac{\mu f(\delta) k^2 \ln k}{\rho g h \lambda + \frac{2\delta \cos \theta (1-\delta)}{r_b} \delta^2}, \quad (2)$$

где δ – пористость;

θ – угол смачивания;

ρ – плотность связующего;

h – глубина погружения стеклонити в пропитывающий состав;

μ – вязкость связующего;

$k = r_0/r_b$, где r_0 – наружный радиус макронити, r_b – радиус элементарного волокна;

$f(\delta) = 16 \cdot (1-\delta)^{1,5} [1 + 56 \cdot (1-\delta)^3]$;

λ – коэффициент, учитывающий уменьшение эффективной пористости вследствие наличия воздуха, оставшегося при пропитке внутри нити ($\lambda \leq 1$).

Полагая, что для образцов с пористостью не менее 0,25 давлением сопротивления воздуха можно пренебречь, принимаем $\lambda = 1$.

Полученное уравнение кинетики процесса пропитки наполнителя связующим позволяет в первом приближении найти скорость движения наполнителя исходя из длины пропиточной ванны l :

$$v = l/t.$$

Учитывая зависимость полного времени пропитки от характеристик пропитываемого состава (ρ , μ) и сопоставляя соответствующие характеристики эпоксидной смолы ЭД-20 и спиртового раствора поливинилбутираля, можно утверждать, что введение в технологический процесс дополнительной операции не приведет к увеличению общего времени обработки наполнителя и тем самым не повлияет на время формирования изделия в целом.

Стекловолокно при производстве покрывается замасливателем, который соединяет элементарные волокна в первичную нить, предотвращая их слипание между собой и облегчая размотку и кручение нитей при производстве из них жгутов. Удаление замасливателя производят путем выжигания при температуре около 800°С или путем растворения в соответствующем растворителе, поэтому включение операции удаления замасливателя приводит к удорожанию производства. Волокно без замасливателя более подвержено механическим повреждениям.

При использовании в качестве связующего эпоксидного олигомера удаление замасливателя считают нецелесообразным. Эпоксидные связующие, представляющие собой смесь полярных соединений, обладают высокой растворяющей способностью и способны полностью растворять текстильные замасливатели на стеклянном волокне и частично – активные замасливатели. Это обуславливает высокую адгезию эпоксидных смол даже к волокнам с парафиново-эмульсионным замасливателем. Однако растворение



замазливателя, содержащегося на поверхности наполнителя, в олигомерном связующем, а также избирательная адсорбция компонентов связующего на поверхности наполнителя приводят к изменению соотношения компонентов в массе связующего. Поскольку содержание замазливателей на волокнах может доходить до нескольких процентов, при большом содержании наполнителя их влияние на объём композита будет весьма заметным.

Замазливатели повышают водопоглощение наполнителей – применение, например, стеклотканей без специальной сушки сильно увеличивает пористость материала. Под действием воды и её паров изменяется состояние поверхности наполнителя. Помимо гидроксильных групп разной кислотности и координационно-ненасыщенных центров на поверхности стеклянных волокон находятся группы Si–O–Na и другие группы, содержащие катионы металлов, которые в присутствии воды легко гидролизуются с выделением свободной щелочи. Образующаяся щелочь может ускорять процесс коррозии волокна или растворяться в полимерном связующем, что, как правило, оказывает на него отрицательное действие [6]. Щелочность или кислотность поверхности наполнителя может катализировать или ингибировать отверждение эпоксидного связующего. Такие же эффекты могут наблюдаться и при избирательной адсорбции на поверхности какого-либо одного компонента эпоксидного связующего, что приводит, кроме того, к образованию около поверхности наполнителя рыхлого дефектного слоя.

Таким образом, представляется целесообразной разработка способа удаления замазливателя непосредственно перед соединением волокна и связующего.

Нами разработан способ изготовления химически стойких труб из стеклопластика, позволивший снизить эффект разгерметизации трубы в процессе эксплуатации. В основу предлагаемого способа положены приведённые выше исследования возможности формирования на поверхности волокна промежуточного слоя эластомера. Предлагаемая разработка основана на соединении операции намотки стеклонити на оправку с удалением замазливателя и модифицированием поверхности стеклонити эластомером. Установлено, что наличие эластичной фазы в объёме композита повышает сопротивление сдвиговым и ударным нагрузкам. Конструкционное оформление предлагаемого способа позволяет снизить энергозатраты на отжиг замазливателя. Удаление замазливателя непосредственно перед нанесением полимера на поверхность волокна снижает вероятность механических повреждений незащищённой поверхности последнего.

Конструкционный стеклопластиковый слой трубы формировали методом намотки. Стеклонить перед намоткой на вращающуюся секторную оправку станка пропускали через термокамеру, представляющую собой 3 изолированные камеры с термоизоляционными перегородками. Перегородки были выполнены двухслойными из огнеупорного кирпича, скрепленного огнеупорным связующим (глина и каолин), толщина слоёв – до 15 мм. Пространство между слоями (40–50 мм) заполняли стекловолокном или асбестом. В стенках ёмкостей были выполнены фильеры, через которые пропускали стеклонить.

В первой камере поддерживали температуру 600–700° С, обеспечивающую отжиг с поверхности волокна парафинового замазливателя. Остаточное содержание замазливателя составляло менее 1,0 вес.%. Малый объём одновременно находящегося в камере отжига стекловолокна позволил существенно снизить энергозатраты на удаление замазливателя по сравнению с традиционными способами.

Во вторую камеру помещали кювету, заполненную эластомером – латексом или спиртовым раствором поливинилбутираля. В этой камере поддерживали температуру 30–40° С, оптимальную для пропитки стеклонити раствором эластомера. Ввиду низкой теплоемкости стекла при установленной скорости подачи требуемое падение температуры



на поверхности стеклонити (с 600–700° С до 30–40° С) достигается практически сразу после выхода ее из фильеры во II камеру. Кроме того, малая масса стеклонити, приходящаяся на единицу длины, позволяет утверждать, что дополнительное количество теплоты, переносимое стеклонитью из камеры I в камеру II, пренебрежимо мало и не может привести к разогреву раствора эластомера, способному вызвать испарение растворителя или деструкцию эластомера.

В третьей ёмкости поддерживали температуру в пределах 90–100°/С, необходимую для удаления растворителя и оплавления эластомера. После прохождения термокамеры стеклонить подавали на вращающуюся секторную оправку станка непрерывной намотки, где происходило формирование конструкционного слоя из стеклонити и связующего с последующим отверждением и снятием готовой трубы с оправки. Содержание эластомера в композиции составило 0,2–0,5 вес. %.

Отжиг замазливателя непосредственно перед нанесением полимера на поверхность стекловолокна исключает возможность механических повреждений волокон, что благоприятно сказывается на состоянии граничных слоев. Кроме того, высокотемпературный отжиг способствует удалению сорбированной на поверхности влаги. Температурный режим при последовательном прохождении камер также способствует термической закалке стекла, обеспечивающей выравнивание напряжений в стекле и увеличение его прочности [10].

В процессе исследований были испытаны образцы стеклопластиковых труб, изготовленных с отжигом стеклонити и формированием на ее поверхности слоя эластомера – поливинилбутираля (метод 1) либо латекса (метод 2), а также контрольная партия образцов на штатном связующем ЭД-20 без обработки поверхности стеклонити (метод 3).

Метод 1. Стеклонить из бесщелочного стекловолокна НСО-6/300 пропускали через термокамеру с тремя ёмкостями. В первой ёмкости при температуре 600–700° С в течение 10–15 сек происходило удаление парафинового замазливателя с поверхности стеклонити. Содержание замазливателя снижалось с 2,5 до 0,9–1,0 вес. %. Далее стеклонить проходила вторую ёмкость, заполненную 5% спиртовым раствором поливинилбутираля. Температуру в ёмкости поддерживали в пределах 30–40° С. Далее стеклонить, покрытая раствором поливинилбутираля, проходит третью камеру, где при температуре 90–120° С происходит удаление растворителя и оплавление поливинилбутираля на поверхности стеклонити. При этом содержание поливинилбутираля в композиции составляет 0,2–0,5 вес. %.

Из термокамеры стеклонить подается на вращающуюся оправку Ø150 мм секторного станка непрерывной намотки СНИГ-14, где происходит формирование конструкционного слоя из стеклонити и нанесенного эпоксидного связующего марки ЭД-20 с последующим отверждением и снятием трубы с оправки станка. Таким образом формируется труба с толщиной стенки 10 мм.

Метод 2. Изготовление стеклопластиковой трубы осуществляли аналогично приведённому выше способу, во второй ёмкости термокамеры поверхность стеклонити покрывали латексом на основе бутадиеннитрильного каучука с содержанием 40% акриловой кислоты. Содержание латекса в композиции находилось в пределах 0,3–0,45 вес. %.

Метод 3. Изготовление стеклопластиковой трубы осуществляли аналогично способам 1 и 2, но без прокалывания стеклонити и без формирования на ее поверхности слоя эластомера.

Результаты испытаний стеклопластиковых труб из материалов 1–3 приведены в таблице 2.



Таблица 2 – Результаты испытаний стеклопластиковых труб

Наименование показателей	Метод № 1	Метод № 2	Метод № 3
Герметичность при температуре 20° С, МПа	14,2	13,3	10,9
Герметичность при температуре 80° С, МПа	13,6	12,8	10,0
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	140,9	134,7	109,1
Коэффициент проницаемости химических реагентов в образец трубы $\times 10^3$ г \times см/см ² \times с: 2% раствор гидроксида натрия маточный раствор 10% NaCl и 20% KCl	6,7 0,25	7,8 0,32	21,9 0,94

Анализ результатов испытаний стеклопластиковых труб показывает, что применение предлагаемого способа изготовления труб позволяет повысить герметичность последних на 20–30%, предел прочности при статическом изгибе на 20–25%, стойкость к химическим реагентам повышается в 3–4 раза.

Результаты исследований эрозионного износа труб, полученных методами № 1 и № 3, в песчаной пульпе представлены в таблице 3. В таблице 4 приведена интенсивность износа труб в циркулирующей абразивной среде.

Таблица 3 – Изменение толщины стеклопластиковой трубы после 10 ч экспонирования в циркулирующей песчаной пульпе при 95° С

Плоскость по высоте трубы	Связующее	
	ЭД-20	ЭД-20 + ПВБ
верх	+0,05	0,00
–20 мм от верха	–0,02	0,00
низ	–0,04	–0,01
+20 мм от низа	–0,03	0,00

Примечание. Каждое значение – среднее арифметическое; 10 замеров по соответствующему периметру.

Таблица 4 – Интенсивность износа труб в условиях циркуляции абразивной среды

Связующее	Среда	Интенсивность износа			
		$i_{105, 84}$ мм/час	$i_{95, 84}$ мм/год	$i_{95, 2,5}$ мм/год	$i_{25, 2,5}$ мм/год
ЭД-20	Песчаная пульпа	0,00500	43,8	0,4093	0,0012
ЭД-20 + ПВБ	Песчаная пульпа	0,00400	35,04	0,3275	0,0009

Примечание. Первый индекс соответствует температуре эксперимента, второй – скорости потока.

Эксперимент по износу в солевой пульпе в пересчёте на условия эксплуатации (25° С и 2,5 м/с) показывает, что износ стеклопластиковых труб без футеровки в песчаной пульпе для эпоксидного стеклопластика составляет 12×10^{-4} мм/год, для модифицированного эпоксидного стеклопластика – 9×10^{-4} мм/год. Данные по износу свидетельствуют о высокой абразивной стойкости стеклопластиковых труб по сравнению со стальными, износ которых составляет величины на 3 порядка более высокие.



Проявленное повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик изделий обусловлено формированием на поверхности армирующих волокон функционального слоя из эластичных полимеров, который способствует снижению свободной поверхностной энергии на границах раздела фаз и уменьшению напряжений в зоне адгезионного контакта.

Нами установлено [11], что формирование на поверхности наполнителя эластичной фазы протекает с образованием в граничной зоне полимерной матрицы градиентных структурных слоев, обеспечивающих релаксацию напряжений при термоусадке и облегчающих увеличение сдвиговой пластической деформации матрицы.

Для решения задачи сохранения целостности футеровочного покрытия в местах стыков и соединений трубопровода нами впервые разработана конструкция сегментарного отвода (рисунок 2), обеспечивающая возможность присоединения бокового отвода к прямооточному трубопроводу под произвольным углом, при котором целостность футеровочного покрытия обеспечивается конструкционно: оконцовки отвода оформляются под фланец с выводом туда же слоя футеровки [12].

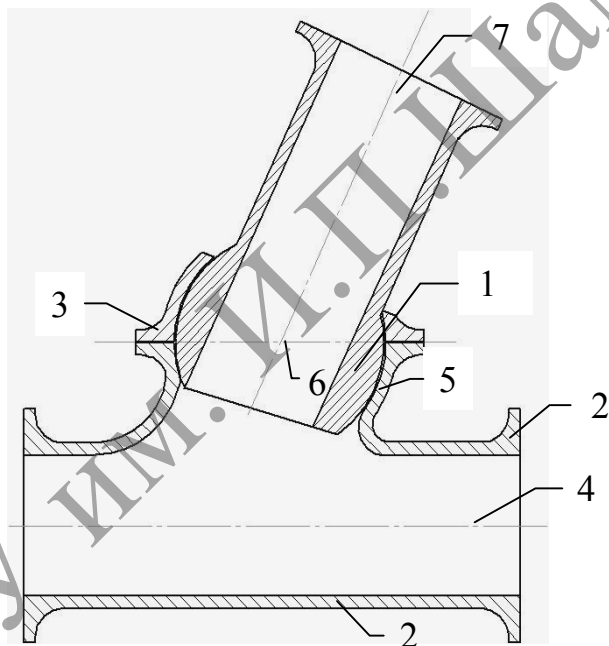


Рисунок 2 – Конструкция сегментарного отвода

Предлагаемое соединение трубопровода содержит шаровый элемент 1 и охватывающий его элемент, состоящий из двух частей: тройника 2 и фиксирующего фланца 3. Тройник 2 имеет внутреннюю цилиндрическую поверхность, продольная ось 4 которой совпадает с осями соединяемых концов труб, и отвод 5, внутренняя поверхность которого повторяет сферическую поверхность шарового элемента 1. Фиксирующий фланец 3 имеет внутреннюю поверхность, также повторяющую сферическую поверхность шарового элемента 1. Фиксирующий фланец 3 охватывает шаровый элемент 1, обеспечивая фиксацию центра сферы 6 последнего в отводе 5 тройника 2 с возможностью поворота шарового элемента 1 с изменением взаимного расположения его продольной оси 7 относительно продольной оси 4 тройника 2. При этом фиксирующий фланец 3 жёстко прикрепляют к отводу 5 тройника 2.



Шаровый элемент 1 и тройник 2 изготавливают путем намотки стеклопластиковой ленты на оправку с одновременной пропиткой терморезактивным связующим (модифицированной ЭД-20). В процессе намотки на внутренних поверхностях этих элементов для защиты от абразивного износа формируют футеровочный слой с выводом под фланец. Фиксирующий фланец 3 изготавливают путем прессования из стеклоткани (плетения) на терморезактивном связующем (модифицированной ЭД-20).

Соединение трубопровода осуществляют следующим образом.

Тройник 2 надевают на концы металлических труб трубопровода и фиксируют на них. В отвод 5 тройника 2 вставляют шаровый элемент 1. На шаровый элемент 1 надевают фиксирующий фланец 3 и прикрепляют его жёстко к отводу 5 тройника 2. Центр сферы 6 шарового элемента 1 при этом оказывается зафиксированным в отводе 5 без возможности каких-либо смещений. Однако сохраняется возможность поворота шарового элемента 1 с изменением взаимного расположения его продольной оси 7 относительно продольной оси 4 тройника 2. Просветы вокруг шарового элемента 1 внутри тройника 2 и фиксирующего фланца 3 при сборке заполняют силиконовым герметиком.

Предлагаемая конструкция легко монтируется на любом участке трубопровода и обеспечивает возможность быстрого и качественного присоединения бокового отвода под произвольным углом к прямооточному трубопроводу в условиях рабочей площадки. Наличие шарового элемента с возможностью его относительной подвижности решает проблему стыковки труб, пересекающихся под произвольным углом. Разработанная нами конструкция соединения трубопровода может быть использована при замене отдельных участков металлического трубопровода на композитные с сохранением герметичности и надёжности соединения. Композитный материал шарового элемента и охватывающих его элементов в сочетании с силиконовым герметиком, а также надёжная фиксация футеровочного слоя обеспечивает герметичность и надёжность соединения при относительной простоте конструкции. При этом сохраняется неизменность внутреннего диаметра сечения трубы в месте присоединения отвода, что обеспечивает постоянное давление транспортируемой жидкости и исключает осаждение твёрдых включений на стенках тройника и шарового элемента.

Выводы

Разработан способ повышения герметичности и механической прочности эпоксидных стеклопластиков, подвергающихся механическому нагружению, путем модифицирования поверхности армирующего наполнителя. Установлено, что формирование на поверхности наполнителя эластичной фазы сопровождается образованием в граничной зоне полимерной матрицы градиентных структурных слоев, обеспечивающих релаксацию напряжений при термоусадке и облегчающих протекание сдвиговой пластической деформации матрицы. Установлено влияние вида и толщины промежуточной эластичной пленки на границе раздела фаз на адгезионную прочность эпоксидной смолы ЭД-20 к стеклянным волокнам.

Предложено новое конструкционное решение и технология изготовления сегментарных отводов для стеклопластиковых трубопроводов, обеспечивающее целостность бипластмассовой трубы в местах присоединения к прямооточному трубопроводу боковых отводов.

Литература

1. Композиционные материалы триботехнического назначения на основе древесины, базальтового, углеродного и полиоксидадиазольного волокон и применение



их в узлах трения тепловозов и сельскохозяйственной техники / В.Я. Щерба [и др.] // Вестник машиностроения – 2009. – № 6. – С. 52–54.

2. Бобович, Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы: учеб. пособие / Б.Б. Бобович. – Москва : МГИУ, 2009. – 384 с.

3. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск : Изд. НГТУ, 2002. – 384 с.

4. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А.А. Берлин [и др.]. – М. : Химия, 1990. – 238 с.

5. Армированные пластики / В.А. Бунаков [и др.] ; под ред. Г.С. Головкина, В.С. Семенова. – М. : Изд-во МАИ, 1997. – 404 с.

6. Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : КолосС, 2007. – 367 с.

7. Наполнители для полимерных композиционных материалов : справочное пособие / пер. с англ. ; под ред. П.Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1981. – 736 с.

8. Белый, В.А. Древесно-полимерные конструкционные материалы и изделия / В.А. Белый, В.И. Врублевская, Б.И. Купчинов. – Минск : Наука и техника, 1980. – 280 с.

9. Физика композиционных материалов : в 2 т. / Н.Н. Трофимов [и др.]. – М. : Мир, 2005. – Т. 1. – 456 с.

10. Материаловедение и конструкционные материалы : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Л.С. Пинчук [и др.] ; под ред. В.А. Белого. – Минск : Вышэйш. шк., 1989. – 460 с.

11. Колдаева, С.Н. Конструкционные материалы на основе древесины и стекловолокна с повышенными антифрикционной и огнестойкостью : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / С.Н. Колдаева ; ПГУ. – Новополоцк, 2005. – 20 с.

12. Соединение трубопровода : пат. 11281 Респ. Беларусь, МПК(2007) F16 L 23/00 / Ю.Н. Колдаев, Д.Н. Довнар, С.Н. Колдаева // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5. – С. 119.

Тезаурус

Композиционные материалы, композиты – искусственные многокомпонентные материалы, состоящие из основы – **матрицы**, и **наполнителей**, играющих укрепляющую и некоторые другие роли.

Фазы – компоненты композита.

Граничный слой – граница между компонентами композита.

Конструкционные материалы – материалы, из которых изготавливаются детали конструкций (машин и сооружений), воспринимающих силовую нагрузку.

Футеровка – специальная отделка для обеспечения защиты поверхностей от возможных механических или физических повреждений.

Адгезия (от лат. *adhaesio* – прилипание) в **физике** – сцепление **поверхностей** разнородных твёрдых и/или жидких тел.

Адгезионная прочность – характеристика соединения покрытия и подложки, измеряется при нормальном отрыве или касательном сдвиге в единицах силы на единицу площади (МПа), а также при отслаивании – в единицах силы на единицу ширины полосы отслаивания (Н/см).

Фасонные изделия – отводы, тройники и другие элементы, предназначенные для соединения труб при строительстве трубопроводов.

Эластомер (Elastomer) – под этим термином понимают полимеры, обладающие в диапазоне эксплуатации высокоэластичными свойствами.



Коррозия (от лат. *corrosio* – разъедание) – это самопроизвольное разрушение материала в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой.

Эрозия – разрушение поверхности материала механическими воздействиями – ударами, трением и т. п.

Адсорбция (лат. *ad* – на, при; *sorbeo* – поглощаю) – повышение концентрации одного вещества (газ, жидкость) у поверхности другого вещества (жидкость, твердое тело).

Резюме

Колдаева С.Н. Новые конструкционные и технологические решения для повышения герметичности стеклопластиковых труб.

Предложен способ предотвращения нарушения сплошности эпоксидных стеклопластиков в процессе механического нагружения путем формирования на поверхности армирующего наполнителя градиентных структурных слоев, обеспечивающих релаксацию напряжений при термоусадке и облегчающих протекание сдвиговой пластической деформации матрицы. Предложена технология формирования бипластмассовой трубы с модифицированием поверхности стеклонити. Установлена зависимость вида и толщины эластичной промежуточной пленки на границе раздела фаз на адгезионную прочность эпоксидной смолы к стеклянным волокнам. Предложено новое конструкционное решение и технология изготовления сегментарных отводов для бипластмассовых трубопроводов.