

Введение Трубопроводные конструкции и системы находят широкое применение практически во всех отраслях промышленности. Трубопроводы относятся к категории энергонапряженных объектов, отказы которых сопряжены со значительным материальным и экологическим ущербом. Многочисленные отказы на трубопроводах, транспортирующих пожаровзрывоопасные продукты, ядовитые компоненты и токсичные среды, приводят к локальным и общим загрязнениям окружающей среды, создают повышенный риск возникновения опасности для персонала и населения. Определяющим критерием безопасности эксплуатации нефтегазопроводов является их конструктивная надёжность, заключающаяся в их способности выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные свойства в течение требуемого промежутка времени "жизненного цикла". Старение действующих трубопроводных систем (в России и СНГ около половины магистральных и промысловых трубопроводов имеют срок эксплуатации более 30 лет) увеличивает опасность аварий. Несмотря на изоляцию и электрохимическую защиту, отдельные участки длительно работающих трубопроводов имеют наружные коррозионные поражения. Глубокие локальные коррозионные поражения металла труб в виде коррозионных «язв» создают опасность образования «свищей» и разгерметизации трубопровода. В ряде случаев ремонт трубопроводов с помощью традиционных методов (вырезка и врезка катушки, установка ремонтных конструкций, заварка дефектов наплавкой) не представляется возможным из экономических, организационно-технических, погодных и почво-климатических условий [1]. Одним из путей решения данной проблемы является постепенная замена традиционно используемых для изготовления трубопроводов материалов на полимерные материалы, которые имеют целый ряд преимуществ: - более низкая стоимость при равных значениях максимального рабочего давления; - повышенный гарантированный срок службы до 50 лет; - отсутствие катодной защиты; - коррозионная и химическая стойкость полимеров к ряду агрессивных веществ; - отсутствие заиливания и образования накипи на внутренней поверхности труб; - уменьшение вероятности разрушения трубопроводов при замерзании транспортируемой жидкости, так как при замерзании в трубопроводах транспортируемой жидкости труба увеличивается в диаметре, приобретая прежний размер при оттаивании жидкости; - масса трубы, изготовленной из полимерного материала, в 5-7 раз меньше массы аналогичной стальной трубы при равном значении максимального рабочего давления; - отсутствие выделения вредных веществ, что позволяет использовать полимерные трубы для систем питьевого водоснабжения. Для соединения труб, изготовленных из термопластов наряду с резьбо-фланцевыми соединениями, применяют технологии с использованием сварки. Однако данный способ не всегда является оптимальным. Проблемы возникают при необходимости соединения труб из разнородных материалов (сталь, чугун,

полимер, стекло, керамика) в различных сочетаниях. В качестве альтернативного метода соединения труб в России и за рубежом в последние годы успешно развиваются техническое и научное направления по разработке и использованию клеевых технологий при соединении и ремонте трубопроводов [2-5]. В основе технологии соединения труб с применением термоусаживающихся муфт лежит механизм, заключающийся в том, что при пластической деформации полимера может быть реализовано неравновесное напряженное состояние, которое при нагревании до определенных температур «релаксирует» с восстановлением первоначальной формы изделия [6, 7]. Это свойство носит название эффекта «памяти формы» (эффект термоусадки). Оптимизация условий соединения труб (выбор рецептуры клея, режимов отверждения, усадки, дорнирования и пр.) позволила разработать как технологию получения муфт и фитингов, так и технологию формирования муфто-клеевых соединений (рис. 1). Рис. 1 - Муфто-клеевое соединение с использованием термоусаживающейся полимерной муфты с эффектом «памяти формы»

В качестве материала для изготовления муфто-клеевого соединения используются различные полимерные материалы. Однако наилучшим образом для изготовления данных изделий подходят эпоксидно-аминные полимеры, подвергнутые модификации различными химически активными соединениями для повышения эластичности трехмерной сетки, которая образуется в процессе отверждения. Обсуждение результатов

На первом этапе была проведена сравнительная оценка различных вариантов модификации: использование нереакционноспособного пластификатора и реакционноспособных пластификаторов - флексибилизаторов (табл. 1). Установлено, что использование пластификатора ДБФ позволяет увеличить когезионную прочность при растяжении (σ_r) и равномерном отрыве ($\sigma_{ро}$) в 2-2,5 раза, адгезионную прочность при сдвиге (τ_v) в 2 раза, а относительное удлинение (ϵ_r) примерно в 4 раза. Еще более эффективным оказалось применение реакционноспособного пластификатора - диглицидилового эфира диэтиленгликоля (ДЭГ-1). Так σ_r увеличивается более чем в 3 раза, τ_v и $\sigma_{ро}$ в 2,5 раза, а ϵ_r в 6 раз. Кроме того, установлено, что введение в композицию пластификаторов ДБФ и ДЭГ-1 приводит к снижению температуры стеклования (T_c) эпоксидных полимеров. Таблица 1 - Физико-механические свойства эпоксиаминных составов

Композиция	Пластификатор, масс. ч.	Отвердитель*	σ_r , МПа	ϵ_r , МПа	T_c , °C	τ_v , МПа	$\sigma_{ро}$, МПа	
1	отсутствует	ДЭТА	20,7	0,6	46	4,6	8,8	
2	ДБФ	(12)	ДЭТА	50,8	2,5	35	9,0	18,5
3	ДЭГ-1	(20)	ДЭТА	65,5	3,5	40	10,0	20,5
4	СКН-18	(20)	УП-583Д	60,5	2,8	45	12,0	24,5
5	отсутствует	УП-0636**	50,0	2,5	55	15,3	28,0	
6	отсутствует	УП-0636	19,0	55,0	45	17,0	27,0	

* количество отвердителя рассчитано по содержанию эпоксигрупп ** стехиометрический коэффициент для УП-0636 - 3,5

Для повышения способности синтезированных эпоксидных полимеров к термоусадке был отобран ряд исходных олигомеров и отвердителей. В качестве

составляющей, включающей алифатические (эластичные) фрагменты, использован ряд реакционноспособных эпоксикаучуков, так как известно, что введение каучуков в эпоксидные полимеры оказывает существенное влияние на их упруго-деформационные и релаксационные свойства. Был отобран ряд отвердителей, содержащих ароматические и алифатические фрагменты. Установлено, что стабильный эффект термоусадки обеспечивается при содержании в жесткой матрице 15-25% эпоксикаучуков. Для определения строения и свойств полимеров, используемых для изготовления термоусаживающихся муфт, определена T_c , а также некоторые характеристики технологичности полимера: температура перехода в высокоэластическое состояние ($T_{вэ}$), температура деформирования (T_d), деформация в высокоэластичном состоянии (ϵ_v). Был выработан научный подход в получении модифицированных эпоксиаминных и эпоксиангидридных композиций, предназначенных для ремонта и соединения металлических, полимерных, в том числе разнородных (металл-полимер, металл-стеклопластик и пр.) трубопроводов. Он заключается в оптимальном сочетании технологических свойств композиций (вязкости, жизнеспособности, режимов отверждения), а также физико-механических и физико-химических свойств отвержденных полимеров и полимерных композиционных материалов. В ходе проведенного исследования особенностей процесса термической усадки сетчатых полимеров различного строения было установлено, что деформация указанных полимеров при температуре, превышающей температуру стеклования, с последующим "замораживанием" напряженного состояния является наиболее эффективным способом формирования термоусадки. Выполнен теоретический анализ прочностных характеристик муфто-клеевых трубных соединений с использованием термоусаживающихся ненаполненных, дисперсно- и ориентированно наполненных полимерных композиционных муфт, позволяющих оптимизировать параметры соединений и повысить их эксплуатационную надежность. Для эксплуатации в экстремальных условиях были разработаны варианты двухслойных термоусаживающихся муфт с наружным термопластичным и внутренним термореактивными слоями, в которых реализован эффект бандажирования. На основании полученных данных разработан ассортимент эпоксидных адгезивов, температурный режим которых синхронизирован с усадкой муфт (табл. 2).

Таблица 2 - Свойства пеноклеев ЭПК-1 и ЭПК-2 в сравнении с отечественным и зарубежным аналогами

Показатель	ЭПК-1	ЭПК-2	ВК-9В	DY 050	Количество компонентов
Плотность, г/см ³	0,45±0,05	0,45±0,05	0,505±0,05	0,45±0,05	4 2 4 3
с _{сж} , МПа	через 1 сутки	через 3 суток	через 7 суток	6,5 12,0 15,0	6,0 11,5 14,0
сп ₀ , МПа	через 1 сутки	через 3 суток	через 7 суток	2,2 4,6 5,8	2,0 4,2 5,5
г _в ×10 ¹¹ , Ом·м	2,0	1,8	1,0	2,0	По результатам проведенных испытаний, представленных в табл. 2 видно, что разработанные эпоксидные

адгезивы по целому ряду показателей существенно превосходят зарубежные аналоги при меньшей стоимости, что позволяет говорить об экономической целесообразности их применения в качестве замены применяемых зарубежных пеноклеев. Заключение Проведенные исследования позволили разработать рецептуру полимерной композиции на основе реакционных эпоксидных олигомер-олигомерных систем для изготовления термоусаживающихся муфт с эффектом «памяти формы», а также предложить доступный способ соединения труб, изготовленных из разнородных материалов.