



На правах рукописи

Фам Куанг Тхуан

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ
С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена на кафедре технологии переработки пластмасс Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой переработки пластмасс Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева

Осипчик Владимир Семёнович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии переработки полимерных материалов и органических веществ Московского государственного открытого университета им. В.С.Черномырдина

Шевурдяев Олег Николаевич;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов Московского государственного университета тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич

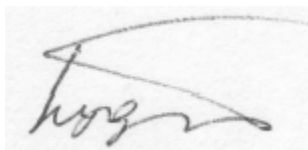
Ведущая организация: ОАО межотраслевой институт переработки пластмасс – НПО «Пластик»

Защита состоится «2» октября 2013 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.204.01 при РХТУ им. Д. И. Менделеева по адресу: 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-информационном центре РХТУ им. Д. И. Менделеева.

Автореферат разослан «30» августа 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.01



Будницкий Ю. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Композиционные материалы (КМ) на основе эпоксидных олигомеров (ЭО) занимают важное место в различных сферах производства, что объясняется комплексом ценных свойств и возможностью их регулирования в зависимости от поставленной цели. Большой интерес представляет создание эпоксидных КМ, обладающих повышенными деформационными характеристиками и устойчивых к действию ударных нагрузок при сохранении физико-механических свойств.

В последнее время для решения экологических задач широко используются материалы на основе растительного возобновляемого сырья. Использование таких соединений в качестве модификаторов ЭО открывает перспективы для расширения ассортимента доступных КМ.

Целью работы является создание эпоксидных материалов, имеющих повышенную устойчивость к ударным нагрузкам и высокую адгезионную прочность. Особый интерес представляет применение в качестве регуляторов свойств эпоксидных олигомеров ненасыщенных жирных кислот, получаемых из растительного возобновляемого сырья.

Работа проводилась в следующих направлениях:

- разработка способов модификации ЭО и исследование их реологических свойств;
- исследование влияния модифицирующих систем на физико-химические и структурные характеристики ЭО;
- разработка и исследование свойств КМ на основе модифицированных ЭО.

Научная новизна.

1. Установлено, что использование в качестве модификаторов продуктов из растительного возобновляемого сырья позволило в широких пределах регулировать процессы формирования сетчатых структур, определяющих комплекс деформационно-прочностных свойств, и разработать материалы, обладающие повышенными ударными свойствами и адгезионной прочностью.

2. Установлено, что свойства КМ на основе ЭО определяются кислотно-основными свойствами наполнителя и механизмом межфазного взаимодействия на границе раздела фаз, которые влияют на характер адсорбционных процессов, регулируемых путем введения поверхностно-активных веществ (ПАВ) различной природы.

3. Показано, что совместное использование модифицирующих систем и ПАВ приводит к значительному снижению остаточных напряжений, повышению жизнеспособности эпоксидных композиций и расширяет возможности их использования при создании КМ с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Практическая значимость. В результате проведенных работ были созданы КМ функционального назначения на основе ЭО, модифицированных ненасыщенными жирными кислотами, получаемыми из растительного возобновляемого сырья. Исследования этих материалов в процессе отверждения показали, что они имеют улучшенные технологические и физико-механические свойства, а также повышенную адгезионную прочность и низкие остаточные напряжения. Разработанные материалы могут быть рекомендованы для применения в качестве покрытий, герметизирующих и ремонтных составов, работающих в жестких атмосферных условиях при воздействии УФ-облучения. КМ также могут быть использованы для работы в климатических условиях Вьетнама.

Объекты и методы исследования. В работе был использован эпоксидиановый олигомер марки ЭД-20. Отвердителями служили смесь аминов и салициловой кислоты (ЭТАЛ-45). В качестве регуляторов процесса отверждения и свойств ЭО использовали касторовое масло и продукт его гидролиза – рицинолеиновую кислоту (РК), а также активные разбавители Лапролат-301, Лапроксид-702 и ЭДОС. Для ускорения процесса взаимодействия ЭО и РК был использован триэтиламин (ТЭА). В качестве наполнителей применяли корунд и карбид кремния различного фракционного состава. Поверхность наполнителя модифицировали ПАВ: солями стеариновой (СТЕАРОКС-6) и олеиновой

(ОЛЕОКС-5) жирных кислот, катамином и натриевой солью сукцината децилового спирта.

Прочностные характеристики определяли по стандартным методикам.

Структурные и физико-химические превращения изучали методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), ИК-спектроскопии, термомеханического анализа (ТМА), динамического механического анализа (ДМА), ротационной вискозиметрии; внутренние напряжения оценивали консольным методом.

Характер межфазного взаимодействия был исследован методами адсорбции и определения краевого угла смачивания. Для оценки кислотности поверхности наполнителя использовали индикаторный метод.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертации были представлены на IV Международной конференции-школе по химии и физикохимии олигомеров (г. Казань, 2011), XXV Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2011» (г. Москва, 2011), XXVI Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2012» (г. Москва, 2012) и IX Международной научно-практической конференции «Современные научные достижения» (Чехия, г. Прага, 2013). По результатам диссертационной работы опубликовано 6 печатных работ. Среди них 1 статья в научном журнале, рекомендованном ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, литературного обзора, характеристики объектов и методов исследования, экспериментальной части, состоящей из четырех разделов, общих выводов, списка литературы из 149 наименований. Работа изложена на 129 страницах, содержит 48 рисунков и 23 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования.

Литературный обзор (**Глава I**) посвящен особенностям протекания процесса отверждения эпоксидных смол, а также способам их модификации с целью улучшения свойств материалов на их основе.

Обобщены результаты по использованию жирных кислот и растительных масел при создании эпоксидных композиций.

Во второй главе представлена характеристика объектов и экспериментальных методов исследований.

Глава 3. Обсуждение результатов

3.1. Влияние модификации эпоксидного полимера на его механические характеристики

В настоящей работе в качестве объекта исследования была выбрана композиция на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 и отвердителя ЭТАЛ-45.

Достоинством композиции на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 и отвердителя ЭТАЛ-45 являются высокая жизнеспособность (не менее 1 часа при комнатной температуре), повышенная сдвиговая адгезионная прочность и прочность при изгибе.

Данную композицию можно использовать для ремонта металлических конструкций, однако ее недостатком является низкая ударная вязкость, поэтому для устранения этого недостатка в работе использовали модификацию эпоксидного олигомера.

Одним из направлений модификации ЭО является введение активных разбавителей и пластификаторов. Физико-механические свойства модифицированной эпоксидной композиции представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, наиболее эффективной модифицирующей системой является РК. Поэтому для дальнейших исследований в качестве модификатора использовалась РК.

Таблица 1 – Физико-механические свойства модифицированной эпоксидной композиции

Состав	Физико-механические свойства			
	Ударная вязкость, кДж/м ²	Прочность при изгибе, ($\sigma_{изг.}$), МПа	Прочность при сжатии ($\sigma_{сж.}$), МПа	Адгезионная прочность, ($\sigma_{адг.}$) МПа
ЭД-20 (100 м.ч.), ЭТАЛ-45 (50 м.ч.)	5,5	64	80	4,8
ЭД-20 (100 м.ч.), касторовое масло (10 м.ч.), ЭТАЛ-45 (50 м.ч.)	8,7	69	72	5,7
ЭД-20 (100 м.ч.), РК (10 м.ч.), ЭТАЛ-45 (50 м.ч.)	14,0	80	76	6,5
ЭД-20 (50 м.ч.), РК (10 м.ч.), модификация: 100 °С, 60 мин., 0,5% ТЭА, ЭТАЛ-45 (50 м.ч.)	23,5	79	69	5,7

С целью определения оптимального содержания модификатора были получены концентрационные зависимости прочностных характеристик исследуемой эпоксидной композиции. Как видно из таблицы 2, оптимальным является содержание РК 10 м.ч.

Таблица 2 – Влияние РК на физико-механические свойства эпоксидной композиции ЭД-20 + ЭТАЛ-45, модифицированной РК

Содержание РК, м.ч.	Физико-механические свойства			
	Ударная вязкость, кДж/м ²	$\sigma_{изг.}$, МПа	$\sigma_{сж.}$, МПа	$\sigma_{адг.}$, МПа
0	5,5	64	80	4,8
5	8	70	78	5,9
7	12,5	75	74	6,2
10	14	80	76	6,5
15	12,6	71	64	6,1

Взаимодействие эпоксидного олигомера и РК в работе оценивали методом ИК-спектроскопии. Были получены ИК-спектры поглощения ЭО, смешанного с РК в различных условиях, в том числе в присутствии триэтиламина. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание гидроксильных, карбонильных и эпоксидных групп в эпоксидном олигомере ЭД-20 и его смеси с 10 м.ч. РК

	D_{3450}/D_{1840} (-ОН)	D_{1725}/D_{1840} (>C=O)	D_{915}/D_{1840} (эпоксидные)
ЭД-20	7,21	0,70	6,82
ЭД-20+РК	13,08	4,51	8,74
ЭД-20+РК+ТЭА	7,13	6,10	7,42

Было установлено, что введение РК в ЭО приводит к росту содержания гидроксильных и карбонильных групп. При добавлении катализатора ТЭА в системе снижается содержание гидроксильных и возрастает количество карбонильных групп, что свидетельствует о протекании химической реакции между РК и ЭД-20.

ИК-спектры отвержденных модифицированных полимеров представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание гидроксильных, карбонильных и эпоксидных групп в эпоксидном полимере и его смеси с 10 м.ч. РК. Данные ИК-спектроскопии

Система	D_{3450}/D_{1840} (-ОН)	D_{1725}/D_{1840} (>C=O)	D_{915}/D_{1840} (эпоксидная)
ЭД-20	16,84	8,83	3,25
ЭД-20+РК	21,19	21,07	1,17
ЭД-20+РК+ТЭА	22,25	11,81	0,28

Как видно из таблицы, содержание гидроксильных групп в отвержденном полимере заметно повышается при введении РК, и максимально при использовании ТЭА. Содержание карбонильных групп наибольшее при введении РК без катализатора, т.е. без химического взаимодействия между ЭД 20 и РК. Степень превращения максимальна при использовании в качестве модификатора РК и ТЭА.

Можно предположить, что в процессе отверждения происходит вытеснение модификатора в области редкой и дефектной сетки, за счет чего неаддитивно увеличивается свободный объем и повышается подвижность элементов структуры. Это должно приводить к ускорению релаксационных процессов и способствовать повышению прочностных и деформационных свойств системы. При введении

пластификаторов в сшитый полимер происходит увеличение свободного объема и уплотнение сетки. Матрица уплотняется за счет локализации модификатора в крупных полостях свободного объема.

Взаимодействие между компонентами системы может оказывать влияние на свойства модифицированного эпоксидного полимера, поэтому были определены значения физико-механических характеристик эпоксидной композиции в зависимости от содержания РК, времени и температуры совмещения ЭД-20 и РК, а также содержания ТЭА. В присутствии ТЭА прочностные характеристики эпоксидного полимера возрастают, поэтому в дальнейшей работе введение РК в ЭД-20 проводили при добавлении 0,5 м.ч. ТЭА и при температуре 100 °С.

3.2. Исследование процессов отверждения эпоксидных олигомеров

Анализ литературных данных показал актуальность исследования процессов отверждения ЭО в присутствии жирных кислот, спиртов и растительных масел и модификации ЭО химическими соединениями различной природы. В работе показано, что для получения КМ с регулируемыми свойствами необходимо изучение физико-химических превращений при формировании сетчатых полимеров и влияния на эти процессы различных факторов.

В настоящей работе было проведено исследование реокинетики структурирования эпоксидного олигомера ЭД-20 аминным отвердителем ЭТАЛ-45. В качестве модификатора использовали рицинолеиновую кислоту (РК), представляющую собой продукт гидролиза касторового масла.

Процесс отверждения ЭО является сложным, многостадийным физико-химическим процессом. Первую стадию процесса отверждения – гелеобразование – изучали вискозиметрическим методом. Исследование вязкости до гелеобразования проводили на ротационном вискозиметре «Реотест-2» с рабочим узлом конус-плоскость при различных температурах. Полученные зависимости вязкости от времени отверждения модифицированной композиции при температурах отверждения от 20 до 60°С приведены на рис. 1.

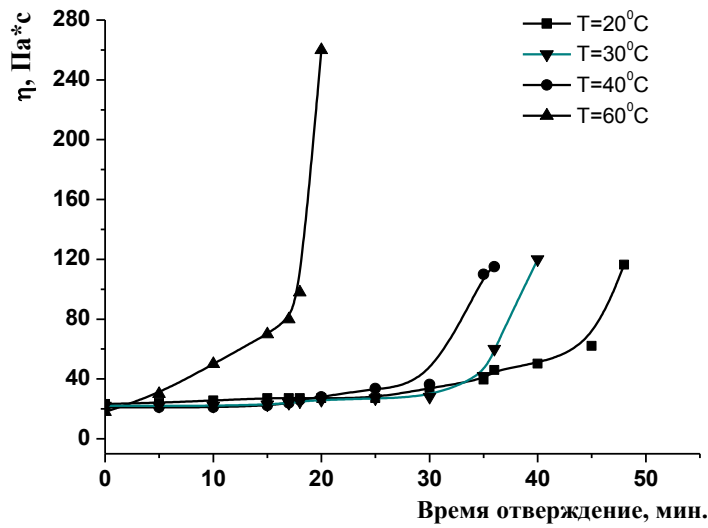


Рис. 1. Зависимость вязкости от времени для системы ЭД-20 + ЭТАЛ-45 + РК (10 м.ч.) при температурах отверждения от 20 до 60 °С

Было установлено, что для всех исследуемых составов изменение вязкости (η) от времени отверждения (t) может быть удовлетворительно описано экспоненциальным уравнением 1 (рис. 2):

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp(k_\eta \cdot t), \quad (1)$$

где η_0 – начальная вязкость, k_η – константа нарастания вязкости.

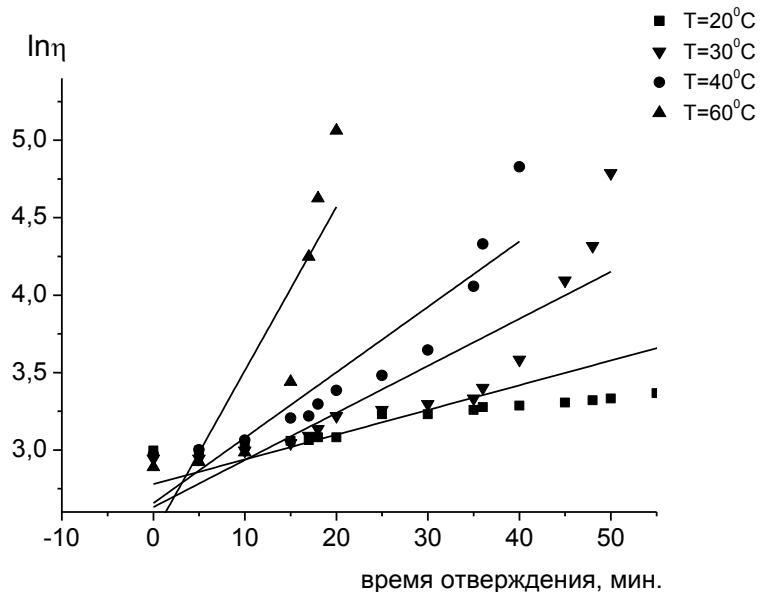


Рис. 2. Зависимость вязкости от времени для системы ЭД-20 + ЭТАЛ-45 при температурах отверждения от 20 до 60 °С в полулогарифмических координатах

Из уравнения (1) были определены значения константы нарастания вязкости исследуемых составов при различных температурах отверждения, значения которых представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения констант нарастания вязкости для различных систем при температурах отверждения от 20 до 60 °С

Система ЭД-20/РК (м.ч.)	Константа нарастания вязкости $k_{\eta} \cdot 10^3$ при температуре, °С			
	20	30	40	60
100/0	0,01597	0,03039	0,04224	0,10566
100/10	0,02724	0,03327	0,04621	0,10939

Как видно из таблицы, константы нарастания вязкости монотонно растут как с увеличением температуры, так и в целом с увеличением содержания модификатора при постоянной температуре. Это свидетельствует о возрастании скорости реакции отверждения. Однако использование формулы (1) не позволяет определить истинное время гелеобразования, которое отвечает условию $\eta \rightarrow \infty$. В работе определение гель-точки проводили путем построения зависимости обратной вязкости $1/\eta$ от времени на конечных этапах отверждения. Определенные экстраполяцией к нулю зависимости $\eta_0/\eta = f(t)$ времена гелеобразования представлены в таблице 6. Время жизнеспособности композиций определяли по моменту достижения вязкости, равной 100 Па·с.

Таблица 6 – Параметры процесса отверждения исследуемых систем, определенные при различных температурах

Система	Время гелеобразования, мин.				Время жизнеспособности, мин.			
	20 °С	30 °С	40 °С	60 °С	20 °С	30 °С	40 °С	60 °С
ЭД-20 + ЭТАЛ-45	77	59	45	22	70	50	38	18
ЭД-20 + РК(5 м.ч.) + ЭТАЛ-45	58	45	42	21	63	44	36	18
ЭД-20 + РК(7 м.ч.) + ЭТАЛ-45	50	42	40	20	48	38	35	18
ЭД-20 + РК(10 м.ч.) + ЭТАЛ-45	65	50	50	30	45	40	35	17

Таким образом, начальная стадия процесса гелеобразования была исследована вискозиметрическим методом. Последующие стадии отверждения

были изучены с использованием методов ДМА, ДСК и экстракции. Методом ДСК исследовали процесс отверждения системы ЭД-20 – ЭТАЛ-45 в диапазоне температур 25-90 °С. Введение в эпоксидную композицию РК приводит к некоторому повышению скорости процесса отверждения (рис. 3), что согласуется с данными вискозиметрии.

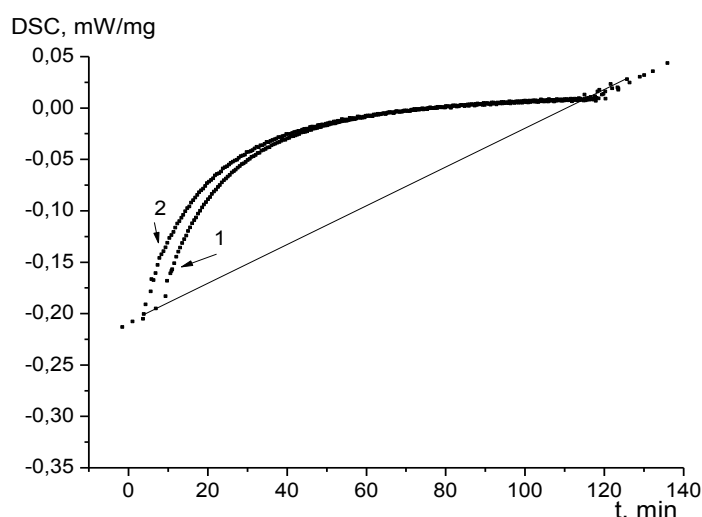


Рис. 3. Временные зависимости скорости тепловыделения в процессе отверждения. 1. ЭД-20 – ЭТАЛ-45; 2. ЭД-20 + ЭТАЛ-45 + 10 м.ч. РК

Как правило, изучение процесса отверждения проводится различными методами, так как каждый метод исследования имеет ограничения по чувствительности на определенных стадиях процесса отверждения. На рис. 4 представлены зависимости вязкости, степени превращения и модуля упругости от времени отверждения системы ЭД-20 + ЭТАЛ-45 + РК, полученные методами ДСК, ДМА, вискозиметрии и экстракции.

По временным зависимостям температуры саморазогрева было показано, что введение РК позволяет снизить экзотермический эффект реакции отверждения, тем самым способствуя более равномерному протеканию процесса.

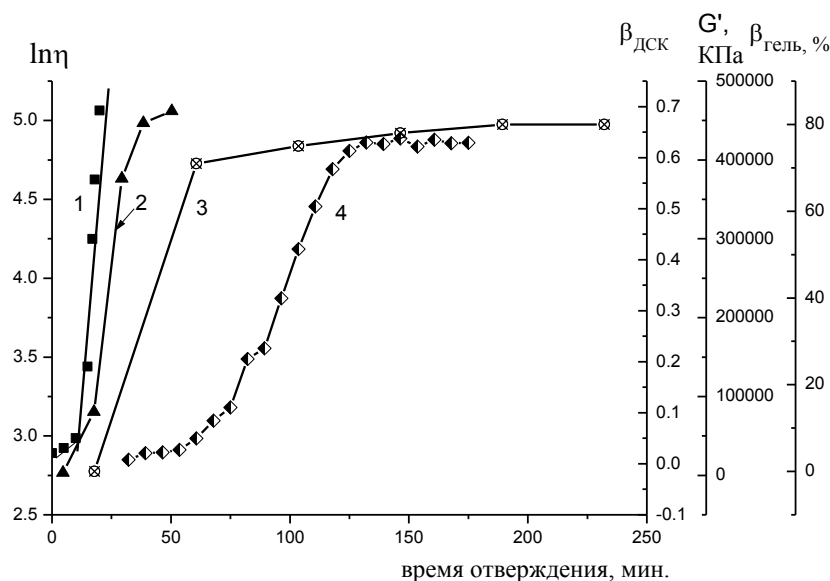


Рис. 4. Зависимость вязкости (1), степени превращения по ДСК (2), содержания гель-фракции (3) и модуля упругости по ДМА (4) от времени отверждения для системы ЭД-20 + ЭТАЛ-45 + РК

Важной характеристикой отвержденных полимеров является молекулярная масса между узлами сетки (M_c), значение которой во многом определяет механические свойства и теплостойкость материалов. В настоящей работе величина M_c и плотность сшивки (n_c) были определены методом равновесного набухания (таблица 7).

Таблица 7 – Влияние модификаторов на параметры структурной сетки композиций на основе ЭД-20

Система	Содержание гель-фракции, %	M_c , г/моль	$n_c \cdot 10^{-3}$, моль/см ³
ЭД-20 (100 м.ч.) + ЭТАЛ (50 м.ч.)	86	1310	5,3
ЭД-20 (100 м.ч.) + ЭТАЛ (50 м.ч.) + РК (10 м.ч.)	84	1460	3,6
ЭД-20 (100 м.ч.) + ЭТАЛ (50 м.ч.) + РК (10 м.ч.) + ТЭА (0,5 м.ч.)	90	1420	3,5
ЭД-20 (100 м.ч.) + ЭТАЛ (50 м.ч.) + касторовое масло (10 м.ч.)	85	1560	3,2

Очевидно, введение модификаторов на основе карбоновых кислот способствует образованию более эластичной структуры. Полифункциональные модификаторы, встраиваясь в трехмерную сетку, могут увеличивать межузловое

расстояние в отвержденной системе, обеспечивая более свободное движение сшитой структуры под действием приложенных усилий.

3.3. Изучение межфазного взаимодействия на границе раздела фаз эпоксидный олигомер – наполнитель

Процессы на границе раздела фаз в значительной степени определяют комплекс свойств композиционного материала. В связи с этим, в работе было исследовано адсорбционное взаимодействие на границе раздела фаз систем ЭО – наполнитель. Также была изучена активность поверхности наполнителей и влияние поверхностных свойств наполнителей на адгезионные свойства КМ.

В качестве наполнителей использовали корунд и карбид кремния дисперсностью 30 - 100 мкм.

Активность поверхности наполнителей изучали индикаторным методом, основанным на том, что, адсорбируясь, индикатор может менять окраску, которая является мерой кислотности (основности) поверхности.

Для модификации поверхности наполнителя в работе использовали различные ПАВ, как ионогенного, так и неионогенного характера.

Наибольшее количество активных центров было выявлено на поверхности корунда, модифицированного неионогенными ПАВ (ОЛЕОКС-5 и СТЕАРОКС-6).

Таблица 8 – Параметры адсорбции эпоксидной смолы ЭД-20 на поверхности корунда (30 мкм), модифицированного ПАВ

Исследуемая система	Емкость монослоя, г/г	Концентрация смолы в адсорбационно-сольватном слое, %	Сродство ЭД-20 к поверхности корунда, константа Генри
ЭД-20/корунд	0,25	5,0	2,9
ЭД-20/корунд + ОЛЕОКС-5	0,78	6,0	4,8
ЭД-20/корунд + СТЕАРОКС-6	0,60	6,0	4,2
ЭД-20/корунд + катамин	0,30	6,0	3,2

В таблице 8 приведены параметры адсорбции эпоксидного олигомера ЭД-20 на поверхности корунда, обработанного ПАВ.

Таким образом, показана целесообразность использования неионогенных ПАВ для получения наполненных материалов с регулируемым взаимодействием на границе раздела фаз полимер-наполнитель, что является предпосылкой получения высокопрочных высоконаполненных КМ.

3.4. Разработка композиционных материалов с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами

Проведенные исследования по разработке модифицированных эпоксидных композиций создали предпосылки для их использования в качестве связующих при создании композиционных материалов. В качестве критерия для оценки адгезионной прочности наполненных КМ в работе использовали значения внутренних напряжений и напряжения при сдвиге.

На рис. 5 представлены зависимости остаточных напряжений исследуемых КМ.

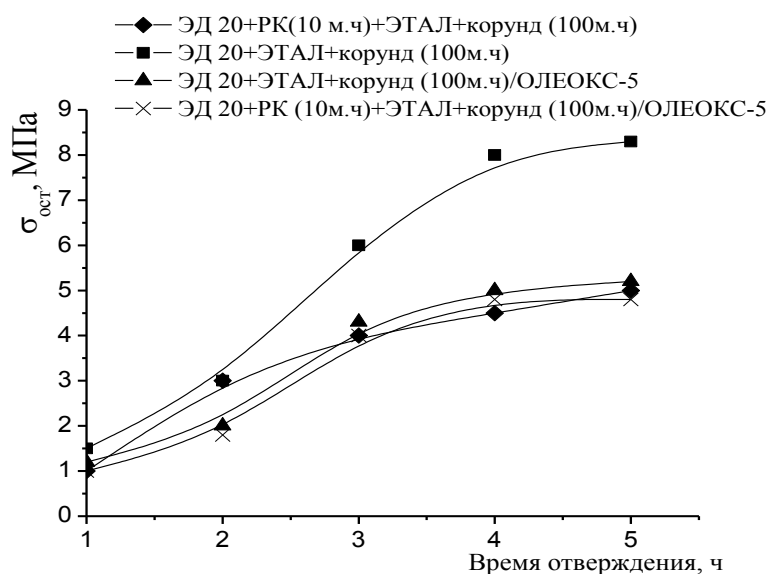


Рис. 5. Изменение внутренних напряжений композиционных материалов на основе модифицированной ЭД-20 в процессе отверждения при $T = 60^{\circ}\text{C}$

Установлено, что совместное введение в эпоксидное связующее РК и ОЛЕОКС-5 способствует значительному снижению остаточных напряжений в

эпоксидных КМ. Свойства КМ на основе разработанных эпоксидных связующих – водопоглощение (W), разрушающее напряжение при изгибе ($\sigma_{изг}$), сжатии ($\sigma_{сж}$), адгезионная прочность при сдвиге ($\sigma_{адг}$), ударная вязкость (A) и твердость – представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Свойства композиционных материалов на основе разработанных эпоксидных связующих

Связующее	W , %	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{адг}$, МПа	A , кДж/м ²	Твердость по Роквеллу
Наполнитель корунд, 50 м.ч.						
ЭД-20+ЭТАЛ	0,61	50	68	7,9	12,0	87
ЭД-20+ЭТАЛ+ РК (10 м.ч)	0,53	54	82	9,8	21,0	94
ЭД-20+ЭТАЛ+ РК (10 м.ч.) + ОЛЕОКС-5 (1 м.ч.)	0,54	56	80	10,5	25,0	96
Наполнитель карбид кремния, 50 м.ч.						
ЭД-20+ЭТАЛ	0,59	52	76	10,2	19	91
ЭД-20+ЭТАЛ+ РК (10 м.ч)	0,51	50	81	9,4	22	97
ЭД-20+ЭТАЛ+ РК (10 м.ч.) + ОЛЕОКС-5 (1 м.ч.)	0,54	58	83	10,9	18	95

Из таблицы видно, что разработанные КМ характеризуются высокой ударной вязкостью, прочностью при изгибе и адгезионной прочностью.

Особое внимание в работе было уделено оценке влияния факторов окружающей среды на свойства разработанных КМ. Результаты исследований представлены в таблице 10.

Таким образом, были разработаны КМ на основе ЭД-20, модификаторов – неионогенных ПАВ и РК, обладающие высокими физико-механическими характеристиками и адгезией к металлическим поверхностям и устойчивые к воздействию действию агрессивных сред и УФ-облучению.

Таблица 10 – Изменение массы и разрушающего напряжения при изгибе образцов после выдержки в химических средах (наполнитель корунд, 50 м.ч.)

Связующее	Изменение массы, %			
	щёлочестойкость	кислотостойкость	солеустойкость	УФ-облучение
ЭД-20+ЭТАЛ	0,75	0,095	0,33	0,25

ЭД-20+ЭТАЛ+РК (10 м.ч.) + ОЛЕОКС-5(1 м.ч.)	0,55	0,11	0,35	0,35
Связующее	$\sigma_{изг}$ до воздействия внешних факторов / после, МПа			
	щёлочес-стойкость	кислото-стойкость	соле-стойкость	УФ-облучение
ЭД-20+ЭТАЛ	50/42	50/44	50/42	50/40
ЭД-20+ЭТАЛ+РК(10 м.ч.) + ОЛЕОКС-5(1 м.ч.)	56/44	56/42	56/45	56/42
Связующее	А до воздействия внешних факторов / после, кДж/м ²			
	щёлочес-стойкость	кислото-стойкость	соле-стойкость	УФ-облучение
ЭД-20+ЭТАЛ	12/8	12/8	12/10	12/9
ЭД-20+ЭТАЛ+РК(10 м.ч.) +ОЛЕОКС-5 (1 м.ч.)	25/16	25/15	25/20	25/16

Разработанные КМ прошли испытания на ООО «ПЛАСТЛИТ» и могут быть рекомендованы к использованию в качестве ремонтных материалов, в том числе в странах Юго-Восточной Азии.

Выводы

1. Проведено комплексное исследование по разработке методов модификации ЭО соединениями различной химической природы для создания КМ с улучшенными свойствами.

2. Показано, что введение в состав ЭО рицинолеиновой кислоты способствует улучшению деформационно-прочностных и адгезионных свойств отверженных олигомеров. Определены оптимальные параметры совмещения ЭО и РК.

3. Изучено влияние РК на процесс отверждения ЭО. Установлено, что введение РК приводит к ускорению процесса гелеобразования, повышению степени отверждения при одновременном снижении температуры саморазогрева реакционной смеси.

3. Показано, что при создании КМ на основе ЭО существенное влияние на смачивание и адсорбционное взаимодействие оказывают кислотно-основные свойства наполнителей.

4. Установлено, что использование неионогенных ПАВ при создании КМ приводит к возрастанию межфазного взаимодействия на границе раздела с наполнителем, что способствует снижению внутренних напряжений и улучшению эксплуатационных характеристик.

5. На основании проведенных исследований разработаны КМ на основе ЭО с повышенными эксплуатационными свойствами. Разработанные композиции успешно прошли испытания и рекомендованы для применения в различных областях для защиты металлов в условиях действия агрессивных сред.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Костромина Н. В., Тхуан Ф.К., Чунг Д. Д., Осипчик В. С. Влияние наномодификаторов на свойства эпоксидных композитов // Пластические массы. 2011. № 6. С. 43- 48.

2. Костромина Н.В., Тхуан Ф. К., Чунг Д. Д., Осипчик В.С. Наномодифицированные эпоксидные композиты. Олигомеры - 2011(Казань, 30 мая-4 июня 2011 г.): Сборник трудов IV международной конференции-школы по химии и физикохимии олигомеров / Казан. Гос. технол. ун-т. Казань: КГТУ. 2011. Т.1. С. 261-263.

3. Костромина Н.В., Тхуан Ф. К., Осипчик В.С. Изучение поверхностных свойств наполненных композитов на основе эпоксидных олигомеров. Успехи в химии и химической технологии: Сборник научн. тр. / М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2011. Т. XXV. №3. С.96 -101.

4. Тхуан Ф.К., Костромина Н.В., Осипчик В.С. Влияние ненасыщенных оксикислот на свойства эпоксидных олигомеров. Успехи в химии и химической технологии: Сборник научн. тр. / М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2012. Т. XXVI. №4 (133). С. 117-123.

5. Костромина Н.В., Олихова Ю.В., Тхуан Ф.К. Создание многокомпонентных высоконаполненных материалов на основе эпоксидных смол . Современные научные достижения: Тезисы докладов IX Международной научно-практической конференции(Чехия, Прага, 27 января -05 февраля 2013 г.) / Прага: Publishing House Education and Science. 2013. С. 67-69.
6. Костромина Н.В., Олихова Ю.В., Тхуан Ф.К., Осипчик В.С. Влияние рицинолеиновой кислоты на свойства эпоксидных композитов // Техника и технология. 2013. №1. С. 28-33.