

УДК 667.633.2

М. В. Журавлева, магистрант (БГТУ); **Э. Т. Крутько**, доктор технических наук, профессор (БГТУ); **Т. А. Жарская**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПОКСИДИАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Эпоксидные олигомеры и эпоксидные композиции, модифицированные соединениями, содержащими имидные циклы, в последние годы представляют значительный научный и практический интерес. Однако только немногие из них нашли широкое применение. Имидные фрагменты теплоустойчивы, и их присутствие в структуре полимерных материалов приводит к высокой термостабильности. Целью данной работы являются разработка и исследование пленкообразующих композитов с улучшенными физико-механическими и термическими свойствами путем модификации эпоксидианового олигомера форполимером полиимида – полиамидокислотой и тетрамаалеамидокислотой.

Epoxу resins and epoxу compositions modified by connections, containing imide cycles, last years represent significant scientific and practical interest. However, only few of them have found wide application. It speaks that imide fragments are thermally steady, and their presence in structure of polymeric materials causes high thermostability of the last. The purpose of the given work are development and research of film-forming composites with the improved physicochemical and thermal properties by updating epoxуdiane oligomer with polyamidoacid and tetramaleamidacid.

Введение. В настоящее время лакокрасочное производство является технически развитой и крупной отраслью химической промышленности, производящей широкий спектр лакокрасочных материалов.

Создание новых видов продукции основано на эмпирическом подходе к разработке новых композиций. До настоящего времени отсутствуют научно-обоснованные подходы к созданию лакокрасочных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами. В этой связи химическая модификация промышленно-производимых пленкообразующих полимеров и олигомеров поликонденсационного типа представляется весьма перспективной в плане создания новых лакокрасочных материалов с улучшенными свойствами – адгезионной прочностью, термо-, водо- и химической стойкостью, электроизоляционными свойствами и др.

Лакокрасочные материалы на основе эпоксидных олигомеров обладают комплексом таких ценных свойств, как высокая адгезия к металлическим и неметаллическим поверхностям, стойкость к действию воды, щелочей, кислот, ионизирующих излучений, малая пористость, незначительная влагопоглощаемость и высокие диэлектрические показатели. Их применяют для получения ответственных покрытий самого различного назначения, в том числе и для получения химически стойких, водостойких, электроизоляционных и теплостойких покрытий.

Однако несмотря на комплекс уникальных свойств материалов, получаемых на основе эпоксидных олигомеров, быстро развивающиеся современные направления техники и технологии требуют постоянного повышения уровня эксплуатационных требований к этим материалам.

Эпоксидные олигомеры и эпоксидные композиции, модифицированные соединениями, содержащими имидные циклы, в последние годы представляют значительный научный и практический интерес [1]. Это объясняется тем, что имидные фрагменты обладают рядом таких уникальных свойств, как высокая термическая стабильность, хорошие механические и электрофизические показатели, устойчивость к воздействиям высоких энергий, сохраняющимся в широком температурном интервале. Таким образом, присутствие имидных фрагментов в составе полимерных композиций будет обеспечивать улучшение эксплуатационных свойств покрытий.

Основная часть. Целью данной работы являются разработка и исследование пленкообразующих композитов с улучшенными физико-механическими и термическими свойствами путем модификации эпоксидианового олигомера форполимером полиимида – полиамидокислотой и тетрамаалеамидокислотой.

Основным объектом настоящего исследования являлась промышленно производимая эпоксидная смола Э-41 в растворе (Э-41р) (ТУ 6-10-607-78), представляющая собой раствор смолы Э-41 с массовой долей $(66 \pm 2)\%$ в смеси ксилола (ГОСТ 9410-78, ГОСТ 9949-76) с ацетоном (ГОСТ 2768-84) в соотношении 4 : 3 по массе.

Раствор смолы Э-41 в смеси ксилола с ацетоном (смола Э-41р) применяется для изготовления лакокрасочных материалов.

Смола Э-41р относится к среднемолекулярным (мол. масса 900–2000) эпоксидным диановым смолам. Ее плотность $1,03\text{--}1,06\text{ г/см}^3$.

В качестве объекта исследования использовали промышленно-производимую эпоксидную смолу марки Э-41р (схема 1).

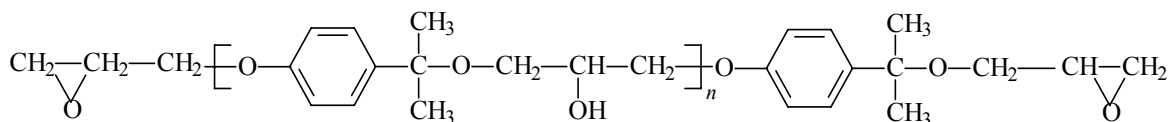


Схема 1

Это продукт сополиконденсации низкомолекулярной эпоксидной смолы Э-40 с дифенилолпропаном. Физико-химические показатели смолы Э-41р приведены в табл. 1.

Таблица 1
Физико-химические показатели смолы Э-41р

Наименование показателя	Норма по высшей категории качества
Внешний вид раствора смолы	Однородная прозрачная жидкость
Внешний вид пленки	Налив на стекле чистый. Допускается незначительная сыпь
Цвет по йодометрической шкале, мг I ₂ /100 см ² , не темнее	30
Условная вязкость по вискозиметру типа ВЗ-246 (ВЗ-4) с диаметром сопла 4 мм при температуре (20,0 ± 0,5)°С, с	80–130
Массовая доля нелетучих веществ, %	66 ± 2
Массовая доля эпоксидных групп в пересчете на сухую смолу, %	6,8–8,3
Массовая доля иона хлора (в пересчете на сухую смолу), %, не более	0,0045
Массовая доля омыляемого хлора (в пересчете на сухую смолу), %, не более	0,25

В качестве модифицирующего компонента применяли полиамидокислоту, полученную с использованием бензофенонтетракарбоновой кислоты (БЗФ) и гидрохинона.

Синтез полиамидокислоты (ПАК) осуществляли путем низкотемпературной поликонденсации (10–15°С) тщательно очищенных исходных мономеров в свежеперегнанном в вакууме диметилформамиде (ДМФА) при их эквимольном соотношении.

Синтез осуществляли по схеме 2.

Наличие большого числа активных функциональных групп (карбоксильных, амидных, карбонильных, концевых ангидридных и аминогрупп) в ПАК предопределяет принципиальную возможность их взаимодействия с эпоксидными и гидроксильными группами эпоксидианового олигомера, обеспечивающего формирование густосшитой сетчатой структуры в пленкообразователе при термообработке системы [2].

Для определения пленкообразующей способности ПАК в зависимости от величины молекулярной массы олигомера оценивали удельную вязкость ($\eta_{уд}$) 0,5%-ного раствора ПАК в диметилформамиде. Из синтезированных растворов полиамидокислот 15–20%-ной концентрации отливали пленки на стеклянной подложке. После удаления ДМФА в вакууме при 20°С пленки снимали со стеклянных пластинок и подвергали термообработке. Прогрев осуществляли в вакууме или инертной среде (в токе азота) при постепенном подъеме температуры от 20 до 300°С со скоростью нагрева 10°С/мин.

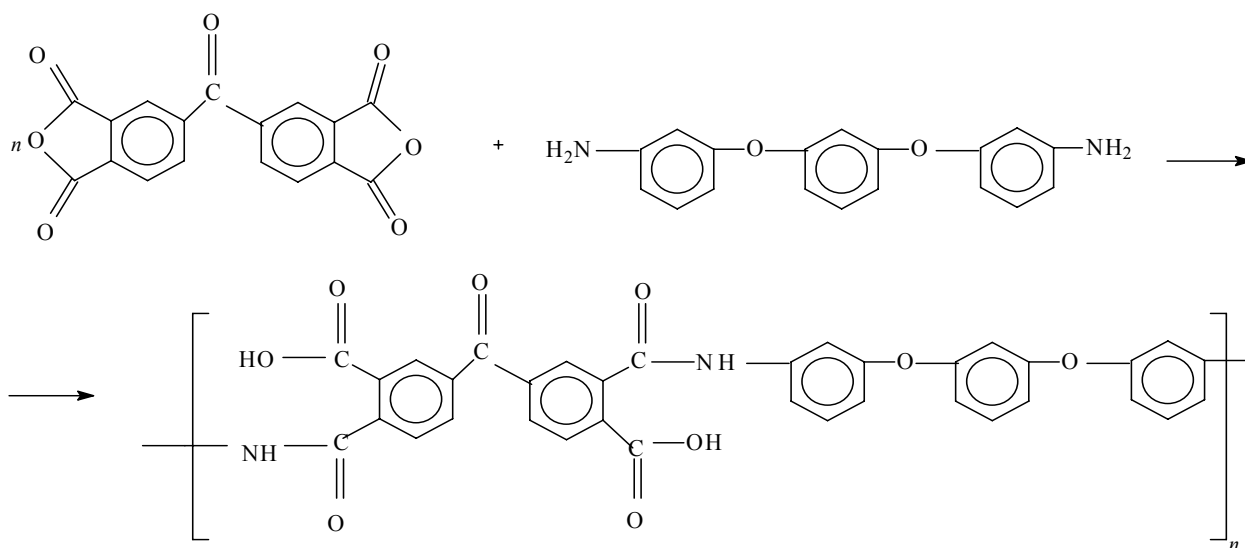


Схема 2

Результаты исследований приведены в табл. 2.

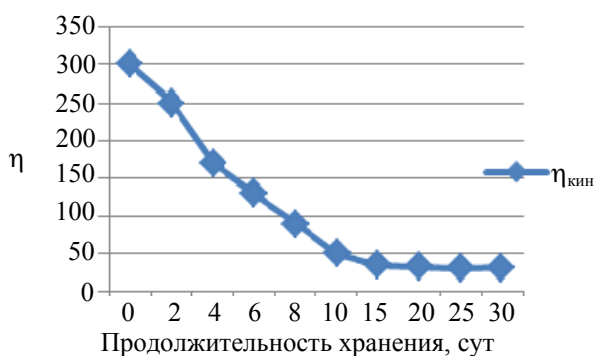
Таблица 2

**Влияние величин удельной вязкости
0,5%-ных растворов ПАК в ДМФА
на пленкообразующую способность олигомера**

Удельная вязкость 0,5%-ного раствора ПАК в ДМФА при 20°C	Толщина покрытия, мкм	Пленкообразую- щая способность олигомера
0,80	10–15	Хорошая
0,75	10–15	Хорошая
0,45	10–15	Хорошая
0,30	10–15	Хорошая
0,25	10–15	Хорошая
0,20	10–15	Хорошая
0,15	10–15	Пленка хрупкая
0,10	10–15	Пленка хрупкая

Как видно из данных табл. 2, минимальное значение удельной вязкости 0,5%-ного раствора ПАК в ДМФА ($\eta_{уд}$), обеспечивающее сохранение пленкообразования олигомера, должно составлять не менее 0,15 [3]. Предварительными опытами было установлено, что наилучшие результаты в процессе модифицирования достигаются при использовании ПАК с удельной вязкостью 0,5%-ных растворов ПАК 0,25–0,35.

При проведении исследований по изучению стабильности растворов ПАК в ДМФА во времени установлено, что удельная и кинематическая вязкость ($\eta_{уд}$) растворов снижаются во времени, что показано на рисунке.



Изменение кинематической вязкости полиамидокислотных растворов в ДМФА в зависимости от продолжительности хранения при 20°C

Как видно из рисунка, при проведении вискозиметрических измерений кинематическая вязкость ($\eta_{кин}$) растворов ПАК особенно сильно изменяется на ранних стадиях хранения растворов (до 10 сут). При более продолжительном времени хранения растворов ПАК в ДМФА наблюдается стремление к некоторому квазирав-

новесному (для данной концентрации и температуры) значению $\eta_{кин}$ и, соответственно, степени деструкции олигомера. При длительном времени хранения происходит выполаживание кривых. Факт замедления деструкции во времени свидетельствует о том, что это «не просто деструкция», а проявление тенденции к установлению поликонденсационного равновесия, определяемого концентрацией олигомера и температурой. Процесс деструкции ПАК интенсифицируется увеличением температуры и снижением концентрации олигомера в растворе.

Полученные зависимости идентичны данным, полученным ранее при изучении изменения кинематической вязкости ПАК, синтезированной на основе диангида БЗФ и 4,4'-диаминодифенилоксида [4].

Анализ экспериментальных данных вискозиметрических исследований свидетельствует о том, что более сильным деструктивным процессам подвержены ПАК с большей молекулярной массой.

Установлено, что максимально допустимый срок хранения растворов ПАК (до 2 месяцев) возможен в отсутствии влажности при температуре $-9...-3,5^\circ\text{C}$.

Экспериментально установлено, что растворы ПАК в ДМФА любой вязкости хорошо совмещаются с эпоксидиановыми олигомерами, не расслаиваясь в течение заданного времени хранения композитов [5].

Пленкообразующие композиты получали путем введения в эпоксидиановую смолу Э-41р с отвердителем (полиамидная смола в ксилоле) 20%-ного раствора ПАК в ДМФА в количестве 0,5–5,0% от массы сухого остатка с последующим перемешиванием компонентов смеси до получения однородной массы. Из полученных лаковых растворов отливали пленки на металлические (медные, стальные) и стеклянные подложки. Отверждение покрытий осуществляли путем прогрева пленкообразующих композитов в термошкафу при температуре 100°C в течение 60–220 мин.

Адгезионную прочность сформированных покрытий определяли по стандартной методике в соответствии с ISO 2409 и ГОСТ 15140-78 методом решетчатого надреза с обратным ударом. Сущность метода заключается в нанесении на готовое покрытие решетчатых надрезов с помощью прибора «Адгезиметр РН» и визуальной оценке состояния решетки покрытия после ударного воздействия, оказываемого на обратную сторону пластины в месте нанесения решетки с помощью прибора «Удар-Тестер». Метод предназначен для определения адгезии высокоэластичных покрытий.

Прочность при ударе образцов покрытий оценивали в соответствии со стандартом ISO 6272 и

ГОСТ 4765-73. Метод определения прочности пленок при ударе основан на мгновенной деформации металлической пластины с лакокрасочным покрытием при свободном падении груза на образец и реализуется с помощью прибора «Удар-Тестер», который предназначен для контроля ударной прочности полимерных, порошковых и лакокрасочных покрытий.

Прочность покрытий при изгибе определяли с помощью устройства, состоящего из стойки с креплением и набора цилиндров различного диаметра (ISO 1519, ГОСТ 6806-73). Для определения прочности образец с испытываемым покрытием медленно гнется вокруг испытательных цилиндров, начиная с больших диаметров, на угол 180°. На одном из диаметров цилиндров покрытие либо трескается, либо рвется, либо отслаивается. В этом случае считают, что покрытие имеет эластичность предыдущего диаметра испытательного цилиндра прибора, на котором оно не разрушается. Отсчет ведется в радиусах изгиба в миллиметрах.

Важной характеристикой лакокрасочных покрытий является твердость. Этот показатель определяли на маятниковом приборе (ISO 1522).

Сущность метода заключается в определении времени затухания (числа колебаний) маятника при соприкосновении его с лакокрасочным покрытием.

ИК-спектры образцов пленок, полученных на стеклянных подложках, снимали на приборе FI-IR (ИК-Фурье-спектрометр фирмы «Thermo Nicolet», США).

Изменение эксплуатационных характеристик покрытий, сформированных из синтезированных эпоксидных композитов при 100°C, в зависимости от продолжительности отверждения показано в табл. 3.

Как видно из данных табл. 3, при увеличении температуры отверждения полученных композиций, содержащих 2% от массы сухого остатка эпоксидного олигомера ПАК, наблюдается повышение твердости, незначительное снижение адгезионной прочности к стальным субстратам, почти вдвое увеличение прочности покрытия при ударе при его формировании в условиях воздействия температуры в пределах 100°C в течение 140–200 мин. Однако наблюдается существенное снижение прочности при изгибе.

Таблица 3

Физико-механические свойства покрытий на основе пленкообразующего эпоксидианового композита, содержащего 2% ПАК, в зависимости от условий отверждения

Условия отверждения		Твердость, %	Адгезия к стали, балл	Прочность при ударе, см, не более
Температура, °С	Продолжительность, мин			
100	60	58	1	8,1
	80	61	1	9,7
	100	65	1	8,2
	120	69	1	9,1
	140	71	0	17,0
	160	75	0	17,0
	180	50	1	17,0
	200	48	1	17,0
110	220	38	1	13,0
	60	61	2	7,3
	80	62	1	7,1
	100	64	1	7,1
	120	67	1	6,7
	140	59	1	6,8
	160	56	1	7,0
	180	50	1	7,0
120	200	48	2	6,1
	220	40	3	5,3
	60	71	2	6,8
	80	74	2	6,8
	100	86	1	6,8
	120	70	1	7,0
	140	69	1	7,0
	160	73	1	7,5
180	70	1	6,8	
200	69	1	6,8	
220	65	1	6,8	

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет утверждать, что наилучшего результата по качеству лакового покрытия на основе синтезированной имидосодержащей пленкообразующей композиции можно достичь при прогреве образцов олигомерных составов в температурном поле 100°C в течение 140–160 мин и при содержании олигомерного модификатора ПАК в пределах 1–2% от массы сухого остатка эпоксидиановой смолы.

В связи с тем что стальные конструкции и устройства эксплуатируются не только внутри помещений, но и во внешней, зачастую агрессивной действующей на поверхность металла среде воды, представлялось целесообразным оценить водостойкость и водопоглощение защитных слоев формируемых покрытий из разработанных пленкообразующих имидосодержащих эпоксидиановых композиций.

Так, водостойкость определяли путем визуальных наблюдений изменения внешнего вида защитного покрытия и появления подпленочной коррозии на стальных субстратах в процессе экспозиции стальных пластин с лаковым защитным слоем в водопроводной воде при нормальных условиях и при 100°C (кипячении).

Водопоглощение определяли путем оценки сорбционной способности лакового покрытия по отношению к воде. Для этого образцы неадаптированных (снятых с подложек) пленок после взвешивания помещали в водную среду и выдерживали там длительное время (до постоянства массы), после чего по разности масс навесок образцов пленки, предельно сорбировавшей воду, и исходной определяли количество связанной воды, выражая ее в процентах по отношению к единице массы пленки эпоксидианового композита.

Результаты проведенных исследований водостойкости и водопоглощения пленок защитных покрытий представлены в табл. 4.

Таблица 4
Водостойкость и водопоглощение модифицированных эпоксидиановых покрытий с различным содержанием полиамидокислоты

Содержание ПАК, %	Водопоглощение, %	Водостойкость, 100°C, ч	Водостойкость при 20°C	
			Визуальное наблюдение	Категория качества
0,0	3,32	10	удовл.	II
0,5	1,11	14	удовл.	II
1,0	0,81	16	хорошее	I
1,5	0,47	17	хорошее	I
2,0	1,49	18	хорошее	I
2,5	0,53	27	хорошее	I
3,0	2,54	13	удовл.	II

Развитие сетчатой структуры в присутствии полиамидокислоты ускоряется благодаря тому, что ПАК дополнительно превносит в систему эпоксид – полиамин, карбоксильные и амидные активные центры, способствующие не только более эффективным химическим взаимодействиям, но и автокатализу целого ряда протекающих в системе конкурирующих реакций благодаря подвижным протонам карбоксиамидных фрагментов ПАК и отвердителя. Кроме того, в молекулах ПАК не исключены реакции: имидизации, деструкции, гидролиза, декарбоксилирования, протекающие под действием температурно-временных полей и выделяющейся циклизационной воды в процессе высокотемпературной обработки защитных слоев при формировании покрытий [6]. Эти превращения генерируют еще большее количество функциональных групп, способствующих структурообразованию в покрытии и увеличению адгезионного сцепления с субстратом.

Вышеуказанные рассуждения частично подтверждаются проведенными ИК-спектроскопическими исследованиями синтезированных композиций.

Так, в ИК-спектрах пленок модифицированных эпоксидиановых композитов, препарированных в адекватных режимах с немодифицированными, четко прослеживается появление полос поглощения в области 1725 см⁻¹ (в дуплете с 1780 см⁻¹), характерных для валентных колебаний карбонильных групп и групп имидных циклов. Причем интенсивность этих полос изменяется в зависимости от температуры и продолжительности прогрева образцов.

В ИК-спектрах также четко регистрируются полосы поглощения в области 1650–1660 см⁻¹ (амидные группы) и широкая полоса поглощения в области 3200–3600 см⁻¹ (карбоксильные и гидроксильные группы).

Их интенсивность с увеличением температуры и продолжительности термообработки уменьшается, что является подтверждением допущения о их расходовании как в реакциях этерификации с гидроксильными группами эпоксидного олигомера, так и за счет частичной циклодегидратации с выделением воды и переходом в имидные фрагменты макромолекул; не исключено образование ангидридных аминогрупп. Однако из-за очень низкой концентрации полиамидокислоты в составе композита подтвердить это ИК-исследованиями не удалось. Наблюдаемое незначительное увеличение интенсивности поглощения в области 3200–3600 см⁻¹ нельзя однозначно объяснить появлением аминогрупп, поскольку их концентрация чрезвычайно мала.

Полимерные покрытия на основе эпоксидных смол успешно используются в судо- и машиностроении, в авиационной технике.

Строение эпоксидиановой смолы, которую использовали, представлено на схеме 3.

Ее получали путем введения в Э-41р расчетного количества тетраамалеамидокислоты в димителфурмамиде с последующим перемешиванием смеси до однородной массы.

В качестве модификатора эпоксидианового олигомера нами также использовано гетероциклическое соединение следующего строения (см. схему 4).

Это соединение синтезировали методом низкотемпературной поликонденсации тетрааминодифенилового эфира с малеиновым ангидридом по схеме 5.

В качестве отвердителя эпоксидной композиции использовали отвердитель № 4. Это раствор полиамидной смолы в ксилоле.

Соотношение компонентов в разработанной композиции составляло, мас. %:

- эпоксидная смола Э-41р – 83,193–84,874;
- отвердитель № 4 – 10,924–12,605;
- тетраамалеамидокислота – 1,681–3,361;
- органический растворитель – остальное.

Химическое строение тетраамалеамидокислоты, содержащей непредельные связи и карбоксильные группы, предопределяет возможность увеличения адгезии эпоксидной смолы, содержащей модификатор. Обнаруженный эффект улучшения адгезионной прочности покрытия на основе разработанной композиции достигается только при использовании всех трех компонентов в заявляемых соотношениях.

Представляло интерес также изучение влияния природы растворителя на свойства формируемых покрытий.

В эксперименте нами использованы следующие растворители:

- ксилол;
- этилцеллозольв;
- смесь ксилола и этилцеллозольва;
- диэтилцеллозольв.

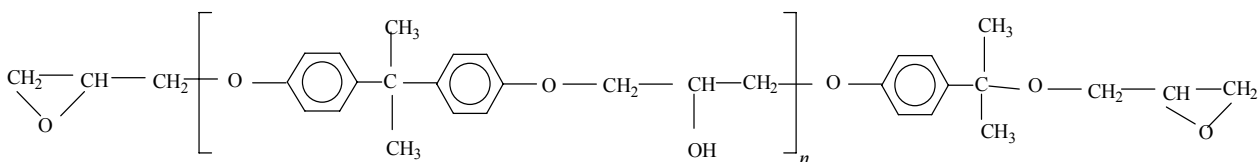


Схема 3

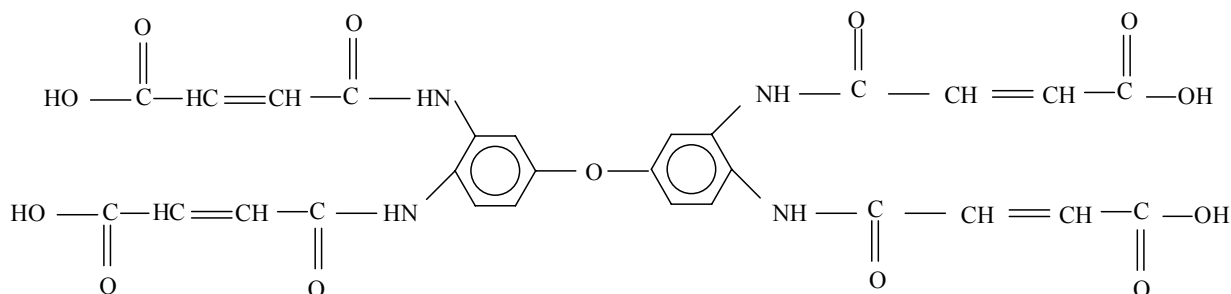


Схема 4

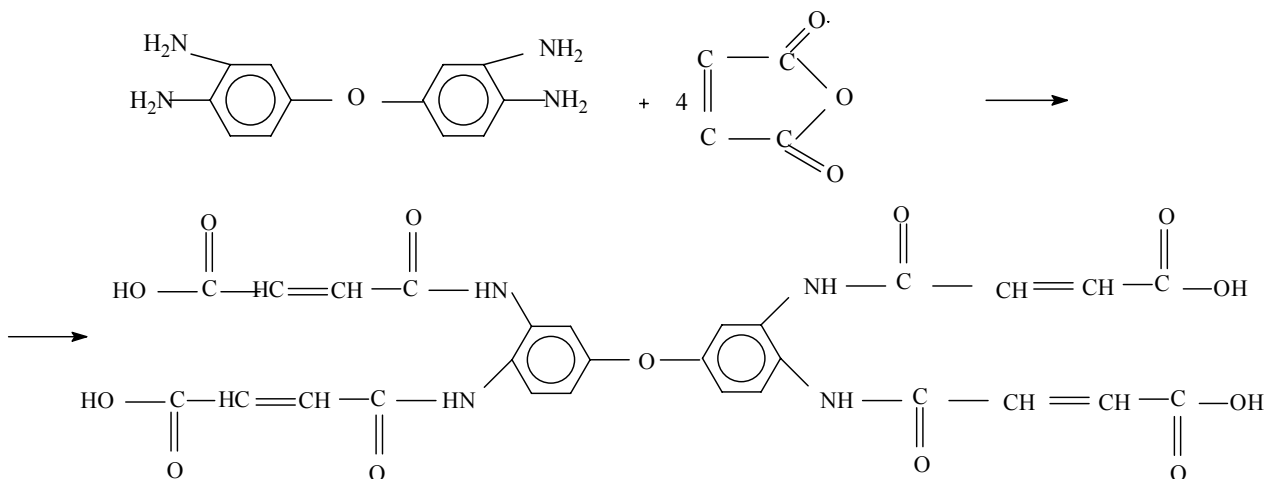


Схема 5

Покрытия формировали в следующих условиях:

- температура – 110°C;
- время сушки – 2 ч 40 мин;
- вязкость растворов – 40–43 с;
- толщина покрытия – 10–15 мкм.

Как показали проведенные исследования, существенного влияния на свойства покрытия используемые растворители не оказывают. Результаты экспериментов приведены в табл. 5.

Таблица 5
Влияние растворителей на свойства покрытий

Растворитель	Твердость, отн. ед.	Адгезия к стали, балл	Прочность при ударе, см
Ксилол	0,560	1	5,8
Этилцеллозольв	0,575	1	6,2
Смесь	0,569	1	6,2
Диэтилцеллозольв	0,580	1	6,1

Очевидно, использование в качестве модификатора эпоксидной композиции тетраамлеамиднокислоты позволяет в условиях отверждения формировать в защитном слое сетчатую структуру, степень структурирования которой определяется количественным соотношением компонентов в композиции.

Следует отметить, что тетраамлеамиднокислота помимо активных амидно- и карбоксильных функциональных групп содержит в своем составе непредельные фрагменты. Они дополнительно могут усиливать адгезионное взаимодействие формируемого покрытия с металлической поверхностью, сказываясь на улучшении адгезионных свойств формируемого покрытия.

В процессе отверждения модифицированной эпоксиановой композиции, содержащей в качестве модификатора тетраамлеамиднокислоту, возможно протекание ряда взаимообусловленных и конкурирующих реакций. Так, тетраамлеамиднокислота может усиливать эффект сшивания эпоксидной смолы отвердителем за счет дополнительных реакций взаимодействия амидо- и карбоксильных групп модификатора с эпокси- и гидроксильными группами эпоксидного олигомера.

В результате эти процессы обуславливают более эффективное структурирование в системе разработанной олигомерной композиции, формирование более плотной густо сшитой сетчатой структуры покрытия, приводя к улучшению его адгезионных характеристик.

При содержании в композиции эпоксидной смолы менее 83,193 мас. % наблюдается фазовое расслоение системы.

Содержание в композиции тетраамлеамиднокислота менее 1,681 мас. % не обеспечивает достаточной адгезионной прочности.

Содержание в композиции тетраамлеамиднокислоты более 3,361 мас. % приводит к увеличению хрупкости покрытия.

Приготовление композиции модифицированной эпоксиановой смолой осуществляли путем тщательного перемешивания эпоксидной смолы с расчетными количествами модификатора и отвердителя – раствора полиамидной смолы в ксилоле.

Композицию перемешивают до получения однородной массы при 20°C и методом полива наносят на металлические подложки, которые предварительно тщательно очищают, высушивают.

Отверждали композиции полиамидным отвердителем марки Э-45 (ТУ 6-10-1429-79 с изменениями № 2) – раствором полиамидной смолы в ксилоле – в количестве 14% от массы смолы. Отверждение модифицированных эпоксидных композиций проводили в термощкафу при температуре от 90 до 120°C в течение 60–220 мин.

Экспериментально установлено, что растворы тетраамлеамиднокислоты в диметилформамиде хорошо совмещаются с растворами эпоксидных олигомеров, не расслаиваются при продолжительном хранении и практически не изменяют вязкостных характеристик во времени (2–24 ч). Кроме того, установлено, что из этих растворов хорошо формируются пленки.

В синтезе тетраамлеамиднокислоты (ТМАК) особенно важна степень чистоты используемых реагентов и растворителей. В этой связи тетраамин, малеиновый ангидрид и диметилформамид в процессе получения ТМАК подвергали тщательной очистке.

Малеиновый ангидрид очищали перекристаллизацией из бензола.

Тетрааминодифенил очищали перекристаллизацией из изопропилового спирта.

Диметилформамид (ДМФА) сушили над гидридом кальция и перегоняли под вакуумом. Степень чистоты контролировали рефрактометрическим методом.

Отверждение покрытий производили в термощкафу при 100°C в течение 3–4 ч.

В табл. 6 приведены адгезионные свойства модифицированных эпоксиановых композиций.

Как видно из данных табл. 6, значение адгезионной прочности для предлагаемой композиции существенно превышает этот показатель для композиции прототипа.

Таблица 6
Адгези модифицированных
эпоксидиановых композиций

Параметр	Показатель			
	Содержание ТМАК в композиции, мас. %			Компо- зиция без модифи- катора
	1,68	2	3,361	
Адгезия* к ста- ли, не более	10	11	16	3
Адгезия к меди, не более	9	8	12	2,5

* Адгезия определялась методом решетчатых надрезов с обратным ударом в соответствии с ГОСТ 15140-780.

Использование предлагаемой композиции на предприятиях судо- и машиностроительной промышленности, а также в аэрокосмической технике позволит увеличить долговечность получаемых покрытий, а следовательно, и продолжительность эксплуатации изделий и устройств, повышая тем самым их конкурентоспособность.

Заключение. На основании проведенного исследования синтезированы новые пленкообразующие имидосодержащие композиции с улучшенными адгезионными свойствами, повышенной твердостью, ударопрочностью, влаго- и водостойкостью. Установлено, что модифицирующие компоненты катализируют процесс отверждения эпоксидиановых покрытий и повышают их термическую стабильность и

коррозионную стойкость к агрессивным воздействиям внешней среды

Литература

1. Теплостойкие полимеры на основе эпоксидных олигомеров и ароматических диэфирдисульфимидов / Т. А. Асланов [и др.] // Пластические массы. – 2008. – № 2. – С. 20–22.

2. Способ получения термо- и теплостойких эпоксидных материалов на основе эпоксидиановых олигомеров, содержащих диимиды пиромеллитовой кислоты: а. с. 639882 СССР, МКИЗ С08G2/30 / Ю. В. Гулиев, И. Д. Волков, С. М. Карякин; Казан. техн. ин-т. № 639882; заявл. 24.10.76; опубл. 08.11.78 // Бюл. изобр. – 1979. – № 48. – С. 134.

3. Асланов, Т. А. Эпоксидиановые композиции на основе смолы марки ЭД-20, содержащие диэфирдисульфимидные фрагменты и их эпоксипроизводные / Т. А. Асланов, У. М. Мамедли, А. М. Гулиев / Журнал прикл. химии. – 2005. – Т. 78, вып. 2. – С. 347–348.

4. Новые пленкообразующие композиты на основе эпоксидиановой смолы / Э. Т. Крутько [и др.] / Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орг. в-в и биотехнология. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 149–154.

5. Химическая модификация эпоксидного олигомера форполимером полиимида / А. В. Николаичик [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2004. – Т. 9, № 4. – С. 44–49.

6. Полиимиды. Синтез. Свойства. Применение / Э. Т. Крутько [и др.]; под общ. ред. Н. Р. Прокопчука. – Минск: БГТУ, 2002. – 302 с.

Поступила 21.02.2011