

**НАНОРАЗМЕРНЫЕ И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ**

УДК 544

**ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АКРИЛОВЫХ
ЭЛАСТОМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕДЬ-СОДЕРЖАЩИМ
ВОДОРАСТВОРИМЫМ ФТАЛОЦИАНИНОМ**

© 2024 г. Т. Р. Асламазова^а, В. А. Котенев^{а,*}

^аФедеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии
имени А.Н. Фрумкина РАН
Ленинский просп. 31, Москва, 119071 Россия
*e-mail: Kotenev2006@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.09.2023 г.

После доработки 05.12.2023 г.

Принята к публикации 20.11.2024 г.

С применением термогравиметрического метода удалось охарактеризовать влияние фталоцианинового модификатора на процесс пленкообразования, сопровождающийся коалесценцией латексных частиц акриловых полимеров. С другой стороны, анализ процесса коалесценции латексных частиц позволил определить роль водорастворимого модификатора на полимерную структуру полиакрилатов и локализацию остаточных следов воды в межчастичных областях пленок и покрытий, а также влияние металлической поверхности, на которой локализуется полимерная пленка, на коалесценцию полимерных частиц. При термогравиметрии акриловых полимеров их модификация водорастворимым фталоцианином сопровождается ростом теплового эффекта, что можно связать с увеличением температуры стеклования и соответственно минимальной температуры пленкообразования. Металлическая поверхность, на которой локализуется латексная полимерная пленка, существенно влияет на процесс коалесценции частиц, как немодифицированного, так модифицированного латексного полимера, что сопровождается ростом теплового эффекта и начальной температуры его проявления.

Ключевые слова: термостойкость, термография, фталоцианиновый модификатор, акриловые эластомеры, межчастичные области полимерных пленок

DOI: 10.31857/S0044185624050085, EDN: MTQHOS

ВВЕДЕНИЕ

Известно о фотохимических свойствах фталоцианиновых соединений [1–4] и их использовании для модификации полимерных материалов [5, 6]. Однако традиционные методы введения таких модификаторов в полимер требуют использования органических растворителей (как полимеров, так и фталоцианинов), что снижает экологический аспект технологических процессов приготовления композитов [5–8].

В связи с этим применение водорастворимых фталоцианинов при модификации

водоразбавляемых полимерных дисперсий (латексных систем) позволяет существенно повысить экологическую безопасность процесса [7–8].

Исследованию влияния водорастворимых фталоцианинов на характеристики пленкообразующих латексных полимеров посвящен ряд работ, в которых рассмотрены композитные материалы с учетом химической (релаксационной) структуры [5–8], тонкой химической структуры по данным сканирующей и атомно-силовой микроскопии [5–6], а также их физико-химических (в т.ч. фотохимических) свойств [9–11].

В данной работе предложен новый подход к исследованию локализации водорастворимого медь-содержащего фталоцианинового модификатора при формировании латексных акриловых полимерных пленок и покрытий, а также — его эффекта на термостойкость акриловых эластомеров на основе анализа термографических данных. Проведен также анализ влияния металлической (медной) поверхности подложки на коалесценцию локализованных модифицированных латексных частиц с учетом термической стойкости полимеров.

Исследование основано на том, что термостойкость полимерных материалов можно характеризовать температурным интервалом плавления или температурой размягчения полимера, а также верхней предельной температурой, при которой в определенных условиях и при заданном времени выдержки не происходит существенных изменений механических или электрических свойств полимера. Так как термостойкость полимера связана с химическим строением и определяется физическими (температура плавления и температура стеклования) и химическими (стойкость к термической и термоокислительной деструкции) факторами, то она может быть исследована с целью анализа эффектов различных параметров, используемых при модификации полимеров.

Для оценки термостойкости полимеров применяют методы, позволяющие характеризовать температурные зависимости различных химических превращений и физических свойств. Данные, полученные с помощью этих методов (термогравиметрического и дифференциально-термического анализа), дают ориентировочную оценку термостойкости. В данной работе использован термический анализ полимеров, который включает в себя термогравиметрию (ТГА), дифференциальный термический анализ (ДТА) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК).

Термогравиметрический анализ (ТГА), осуществляемый на термогравиметрическом анализаторе, непрерывно измеряет массу, в то время как температура образца изменяется с течением времени. Была использована изотермическая (статическая) термогравиметрия, в которой масса образца регистрируется как функция времени при постоянной температуре. Метод позволяет измерять изменение массы (ТГА) для одного образца, т.е. фиксировать кривые потери его массы. Регистрируя во времени температуру

и потерю массы образца, определяют температуру разложения и делают заключение о содержании веществ.

При нагревании полимера на воздухе (т.н. термоокислительная деструкция), если не происходит обратимых процессов выделения влаги или отщепления низкомолекулярных соединений в результате процессов циклизации, температура начала потери массы образца может быть использована для характеристики начала разложения полимерного материала.

При анализе термографического поведения покрытий акриловых полимеров на медной поверхности при высоких температурах принимали во внимание тот факт, что в случае меди может происходить окислительная деградация, поскольку в атмосфере, богатой кислородом, образуются оксиды меди.

В данной работе изучены свойства пленок и покрытий на основе латексных акриловых полимерных материалов до и после их модификации водорастворимым медь-содержащим фталоцианином с учетом данных ТГА и ДСК посредством анализа характерных закономерностей разложения. Это исследование было предпринято с целью обнаружения эффекта модификатора на термографическое поведение пленок/покрытий и сопоставления характеристик эластомеров и композитов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве эластомеров были использованы латексные алкилметакриловый (далее именуемый М) и алкил(стирол)метакриловый (далее именуемый А) полимеры, минимальная температура пленкообразования которых составляет 5° и 16°С, а размер частиц соответствующих дисперсий 200 и 100 нм, соответственно.

В качестве водорастворимого фталоцианина использовали тетранатриевую соль медь (II)-фталоцианин-тетрасульфониевой кислоты.

Свободные латексные пленки готовили отливом латексов на тефлоновой подложке и высушиванием образца до постоянного веса.

При приготовлении латексных покрытий латексы наносили на медную фольгу с дальнейшим высушиванием образца до постоянного веса.

В качестве медной подложки использовали медную фольгу толщиной ~0.1 мм, представляющую собой сплав М1, содержащий в своем составе 99.9% основного металла и прочих примесей, количество которых не выходит за рамки

~0.5%. Поверхность фольги перед нанесением полимерного образца очищали обработкой спиртовым раствором.

Свойства металлической поверхности, корродирующие с параметрами кристаллической решетки [12–18], характеризовали с привлечением метода рентгеновского рассеяния и дифракции, позволяющего сопоставить на спектрах дифракции расщепление на атоме меди исходной необработанной и отожженной меди с привлечением метода РФЭС. Для этого проведен рентгеноструктурный анализ химического состояния медной фольги с использованием дифрактометра малоуглового рассеяния Saxsess (Австрия) с доступным угловым диапазоном (2θ) от 0.1° до 40° , экспозиция от 1 до 120 минут; $\text{CuK}_{\alpha 1}$ – излучение ($\lambda = 1.542\text{Å}$).

Элементарный состав поверхностного слоя металлических подложек необработанной и отожженной меди проводили с применением метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии РФЭС на спектрофотометре Омикрон (Германия) [19].

Спектры РФЭС получены при облучении металла пучком рентгеновских лучей с регистрацией зависимости количества испускаемых электронов от энергии связи. Исследуемые электроны эмитируются на глубину 10 нм проникновения в исследуемый образец с использованием мягкого рентгеновского излучения.

В термографических экспериментах полимеры подвергались термообработке на воздухе в интервале температур от 20° до 160°C (со скоростью повышения 5° в минуту), что соответствует температурам выше температуры стеклования исследованных полимеров [20–21].

Кривые термограммы снимали на приборе СДТ Q600 (США), совмещающим методам ДСК и ТГА.

На кривых термограмм фиксировали тепловой эффект, характеризующий химическую структуру полимера; начальную температуру теплового эффекта и температурной интервал его проявления; максимальную температуру в области температурного эффекта; потерю массы при термообработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена одна из полученных экспериментальных термогравиметрических кривых с указанием числовой величины теплового потока, обнаруживаемого при термографии локализованного на медной поверхности

немодифицированного алкил(стирол)метакрилового полимера (А), который автоматически формируется прибором. Аналогичные кривые были получены для всех исследованных свободных и локализованных (алкилметакриловых и алкил(стирол)метакриловых) полимеров (М) и (А), как не модифицированных, так и модифицированных медь-содержащим водорастворимым фталоцианином при его различных концентрациях.

Из рис. 1 видно, что в исследованном интервале температур от 20° до 160°C наблюдается лишь одна область с выраженным тепловым эффектом.

В табл. 1 представлены фиксируемые прибором экспериментальные значения общей потери массы при выдерживании образцов; температурного интервала, в котором наблюдается тепловой эффект, и максимальной температуры, достигаемой в интервале теплового эффекта.

Для обоих свободных полимерных пленок ответ системы на температурное воздействие проявляется в интервале температур от $\sim 30^\circ$ до 41°C в виде теплового эффекта. При этом максимальная температура, достигаемая в указанном температурном интервале, для полимеров (М) и (А) около $\sim 41^\circ\text{C}$.

Наблюдаемые тепловые эффекты для обоих полимеров можно связать с процессом удаления остаточных следов воды, локализованных в межчастичном пространстве латексной пленки.

На рис. 2 представлена в качестве примера структура латексной пленки полимера (М).

На рис. 2 представлена микрофотография и фазовая структура поверхности латексной полимерной пленки, представляющая собой контактирующие между собой монодисперсные частицы латекса.

Известно о возможности удерживания следов атмосферной влаги в межчастичных областях латексной пленки гидрофильного полимера, угол смачивания поверхности которых ниже $\sim 10^\circ$ [22, 23].

На рис. 2 отчетливо прослеживаются области пустот, формируемые при контакте, по крайней мере, четырех полимерных частиц, в которых могут локализоваться следы воды.

Температурный интервал, соответствующий удалению остаточных следов воды, выше температуры стеклования обоих полимеров и указывает на то, что для ее удаления и полной коалесценции латексных частиц требуется некоторое время.

Sample: MOM_AIR_SDT
Size: 60.6560 mg
Method: Ramp

DSC-TGA

File: C:\TA\Data\SDT\KMR\AOM_AIR_SDV
Operator: IS
Run Date: 21-Apr-2023 15:02
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

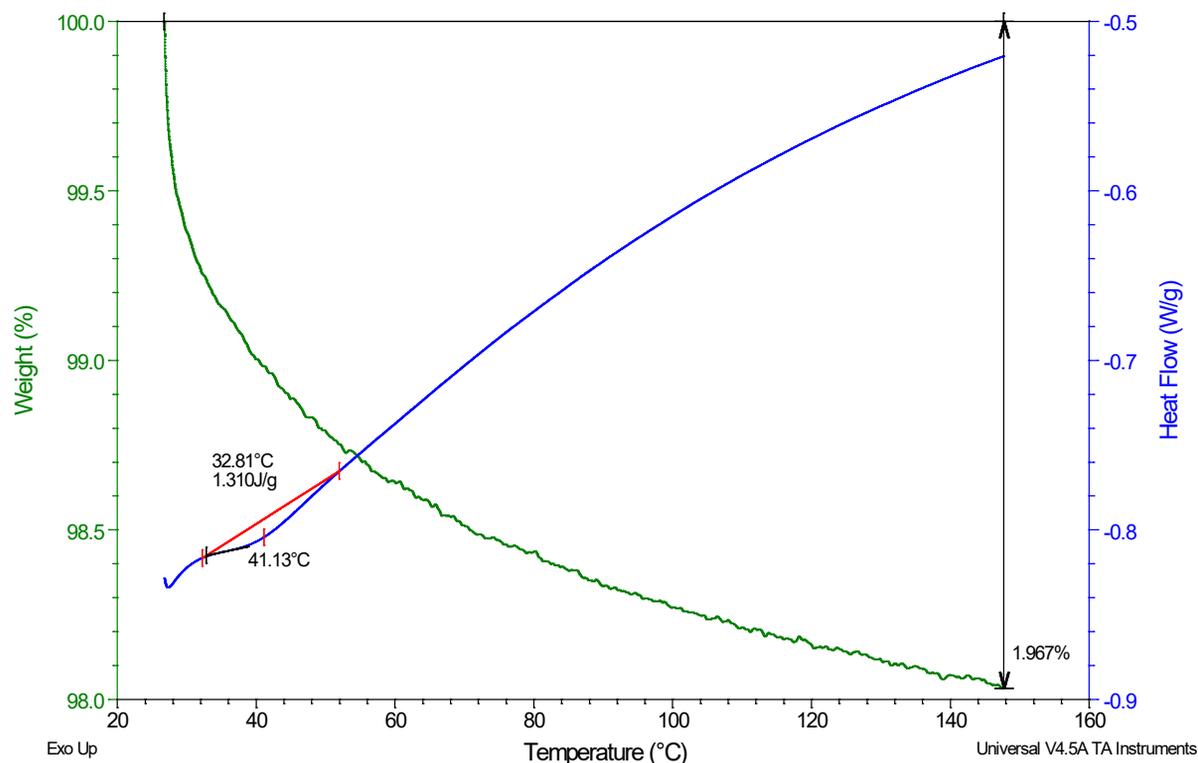


Рис. 1. Термогравиметрические кривые для алкил(стирол)метакрилового полимера (М) в области температур от 20° до 160°С.

Таблица 1. Термогравиметрические данные латексных пленок

Полимер	Обозначение	CuВДФ.10 ³ , моль/л	Тепловой эффект, Дж/г	ΔТ (°С) интервал реализации теплового эффекта	T _{max} (°С) в ΔТ	Общая потеря массы, %
А	A0	0	2.17	31.4	32.5	0.68
	A1	0.05	2.66	34.0	41.0	0.60
	A2	0.10	4.22	31.4	40.2	0.45
М	M0	0	1.03	30.9	32.7	0.90
	M1	0.5	1.40	30.2	32.4	0.57
	M2	1.0	1.37	29.9	34.7	0.47

Концентрация остаточных следов воды в установленных пустотах крайне мала: общая потеря массы обоих полимерных пленок составляет менее 1 мас. %.

Как следует из табл. 1, в случае немодифицированных полимерных пленок потеря массы,

скорее всего, является следствием эффекта размера латексных частиц и формируемых при этом вакансий, в которых локализуются остаточные следы воды.

В случае гидрофильного полимера М фазовый переход при воздействии температурной

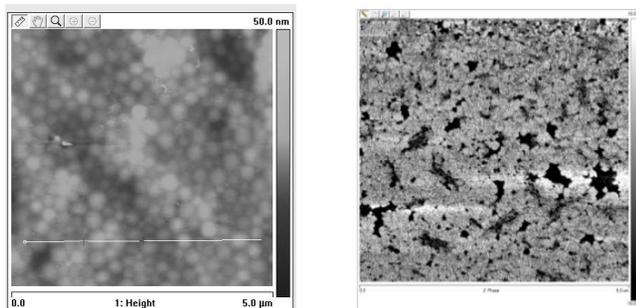


Рис. 2. Микрофотография [5–6] и фазовая структура латексной пленки полимера (М) по данным атомно-силовой микроскопии.

обработки осуществляется с меньшим тепловым эффектом, что определяется его температурой стеклования.

Температурный интервал коалесценции частиц обоих полимеров лежит примерно в одном интервале с незначительным перевесом в сторону менее эластичного полимера, коррелируя с более высоким максимальным температурным значением в области теплового эффекта.

Данные термогравиметрии более гидрофобного полимера А по сравнению с полимером М, не модифицированного и модифицированного фталоцианином, свидетельствуют о том, что все три образца выделяют воду в результате термического воздействия. Видно, что локализованный в межчастичных областях латексной пленки фталоцианин влияет на процесс фазового перехода, имеющего место при температурах в интервале 30°, выше температуры стеклования полимера, при которых протекает процесс коалесценции полимерных частиц. При этом обнаруживается, что чем выше концентрация модификатора, тем

больше возрастает тепловой эффект этого процесса, в результате чего общая потеря массы полимерной пленки оказывается наименьшей.

Влияние модификатора на тепловой эффект свободных полимерных пленок можно связать с возможностью изменения пленкообразующей способности полимерного материала с его участием, что требует дополнительной энергии для ее удаления. Это подтверждается ростом максимальной температурой теплового эффекта при термообработке полимера (А) от 32.8° до ~41°С и полимера (М) от 32.7° до 34.7°С., а также требует дополнительного исследования изменения пленкообразующей способности полимера с участием модификатора.

В табл. 2 представлены термогравиметрические данные латексных пленок, локализованных на медной поверхности.

Сопоставление термогравиметрических данных свободных полимерных пленок (табл. 1) с данными для полимерных покрытий (табл. 2), может в некоторой степени характеризовать активность поверхностных соединений меди к функциональным (карбокислым) группам обоих полимеров. Поэтому предварительно целесообразно характеризовать поверхность меди.

На рис. 3 представлены данные РФЭ-спектры поверхности меди, а в табл. 3 – химический состав ее поверхностного слоя.

Анализ РФЭ-спектров рис. 3 и данных табл. 3 показывает количественное содержание и энергетическое состояние поверхностных соединений металла.

Содержание кислородсодержащих соединений (окислов и гидроокисей) в приповерхностном слое медной фольги, описываемое суммарной энергией связи (табл. 3), коррелирует с интегральной площадью пиков

Таблица 2. Термогравиметрические данные латексных пленок, локализованных на медной поверхности

Полимер на металле	Обозначение	CuВДФ.10 ³ , моль/л	Тепловой эффект, Дж/г	ΔТ (°С) реализации теплового эффекта	T _{max} (°С) в ΔТ	Общая потеря массы, %
АМ	А0М	0	0.38	34.7	32.7	0.10
	А1М	0.05	1.39	36.3	37.2	0.10
	А2М	0.10	2.41	33.3	41.3	0.07
ММ	М0М	0	0.78	32.7	41.0	1.97
	М1М	0.5	1.37	28.5	35.6	1.50
	М2М	0.10	2.40	37.5	44.9	1.61

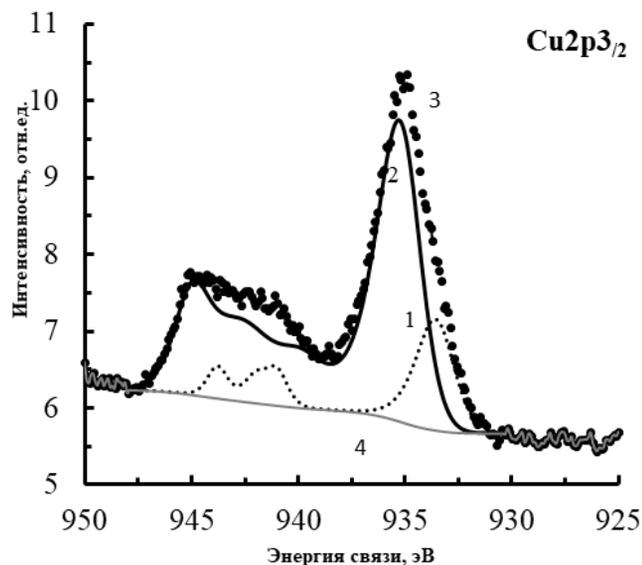


Рис. 3. Данные РФЭС для меди Cu2p_{3/2}: 1 – CuO; 2 – Cu(OH)₂; 3 – суммарная кривая; 4 – фон [24].

на РФЭС-спектре рис.3. Как следует из табл. 3, энергетическое состояние всех кислородсодержащих соединений гораздо выше энергетического состояния других обнаруженных соединений поверхности.

Видно, что содержание окисей и гидроокисей коррелирует с интенсивностью соответствующих пиков на РФЭС-спектрах, характеризующей суммарной интегральной площадью пиков, соответствующая тому или иному поверхностному соединению и их энергетическому состоянию в приповерхностном слое.

Как следует из табл. 1 и 2, тепловой эффект при термообработке обоих полимерных покрытий ниже в сравнении со свободными латексными пленками, что является, скорее всего, следствием взаимодействия карбоксильных групп сополимера с окисными/гидроокисными группами медной поверхности, вызывая нарушение упорядоченности расположения латексных частиц на поверхности подложки и снижение содержания остаточного содержания воды.

Локализация полимеров на медной поверхности в обоих случаях вызывает увеличение температурного интервала, в котором осуществляется удаление остаточного содержания воды и коалесценция латексных частиц, что также подтверждает эффект взаимодействия полимер-поверхность меди. При этом следует принять во внимание возможность окислительной деградации медной поверхности, которая может происходить при нанесении на нее

водно-полимерной дисперсии в атмосфере, богатой кислородом, с дополнительным образованием оксидов меди.

Для более детального рассмотрения эффекта модификации латексных полимерных пленок и покрытий водорастворимым фталоцианином проведен анализ термогравиметрических зависимостей в температурных интервалах, соответствующих проявлению наблюдаемых тепловых потоков, с целью установления начала проявления теплового эффекта.

На рис. 4 даны термогравиметрические кривые пленок и покрытий алкил(стирол)метакрилового полимера (А), не модифицированного (А0, А0М) и модифицированного водорастворимым фталоцианином при концентрации (0.05 и 0.1)·10⁻³ моль/л, именуемых (А1, А1М) и (А2, А2М) соответственно. На рис. 4 представлены числовые значения наблюдаемых тепловых потоков, которые программа термографа автоматически формирует на термогравиметрическом рисунке при выделении области его проявления.

На рис. 5 представлены термогравиметрические кривые пленок и покрытий алкил(мет)акрилового полимера (М), не модифицированного (М0, М0М) и модифицированного водорастворимым фталоцианином при концентрации (0.05 и 0.1)·10⁻³ моль/л, именуемых М1, М1М и М2 соответственно.

В табл. 4 представлены температурные значения начала проявления теплового эффекта при термогравиметрии пленок и покрытий полимеров (А, АМ) и (М, ММ), которые получены при обработке термогравиметрических зависимостей рис. 5 и 6.

Представленные данные позволяют обнаружить смещение температуры, при которой начинается процесс коалесценции латексных частиц обоих полимеров в низкотемпературную область после увеличения концентрации модификатора. Это коррелирует с данными работ [25–27], в которых наблюдается нарушение релаксационной структуры акриловых полимеров при их наполнении модификаторами различной химической природы, проявляемое в росте релаксационной подвижности молекулярных фрагментов полимера.

Из табл. также следует увеличение начальной температуры проявления теплового эффекта при переходе от свободной пленки к полимерному покрытию, как в отсутствие модификатора, так и после их модификации фталоцианином. Это указывает на то, что металлическая поверхность существенно влияет на проявление теплового

Таблица 3. Химический состав поверхностного слоя по данным РФЭС [24]

Металл	Элементарный состав поверхностного слоя						
медь необработанная	Peak name	E_B /eV	Area/cps·eV	Sens. Fact.	Norm. Area	Quant./at. %	
	C1s CH ₂ CH ₂	284.97	55887.045	0.296	188807.58	48.13	71.28
	C1s C-O	286.4	19470.317	0.296	65778.101	16.77	
	C1s O-C=O	288.7	7412.7429	0.296	25043.050	6.38	
	N1s atm. ads.	400.31	3000.8318	0.477	6291.0520	1.6	1.6
	O1s Oxides	530.9	828.15667	0.711	1164.7773	0.3	22.54
	O1s Hydroxides	531.88	27978.658	0.711	39351.136	10.03	
	O1s C-O	532.7	22249.522	0.711	31293.280	7.98	
	O1s H ₂ O	533.6	11806.798	0.711	16605.905	4.23	
	Cl2p Cl(-)	199.4	1236.5630	0.77	1605.9260	0.41	0.41
	Ca2p CaO	347.71	855.78108	1.634	523.73383	0.13	0.13
	Cu2p ₃ Cu(0)/Cu ₂ O	932.5	654.26924	3.198	204.58700	0.05	4.03
	Cu2p ₃ CuO	933.9	6774.2841	3.198	2118.2877	0.54	
	Cu2p ₃ Cu(OH) ₂	935.25	21904.460	3.198	6849.4246	1.75	
Cu2p ₃ Sat. Cu(II)	941.3	14434.588	3.198	4513.6300	1.15		
Cu2p ₃ Sat. Cu(II)	944.58	6732.3526	3.198	2105.1759	0.54		
медь отожженная	Peak name	E_B /eV	Area/cps·eV	Sens. Fact.	Norm. Area	Quant./at. %	
	C1s CH ₂ CH ₂	285	45983.576	0.296	155349.92	44.73	62.56
	C1s C-O	286.4	12412.472	0.296	41934.030	12.07	
	C1s O-C=O	288.8	5916.2561	0.296	19987.351	5.76	
	N1s atm.ads.	400.21	1408.4014	0.477	2952.6236	0.85	0.85
	O1s Oxides	530.83	4852.2187	0.711	6824.4988	1.97	28.85
	O1s Hydroxides	531.88	42088.414	0.711	59196.082	17.04	
	O1s C-O	532.7	15312.581	0.711	21536.682	6.2	
	O1s H ₂ O	533.6	8995.0463	0.711	12651.260	3.64	
	P2p MeHPO ₄ /MeH ₂ PO ₄	133.55	2998.8494	0.412	7278.7608	2.1	2.1
	Cu2p ₃ Cu(0) and Cu ₂ O	932.75	3591.6315	3.198	1123.0867	0.32	2.38
	Cu2p ₃ CuO	933.65	10071.007	3.198	3149.1579	0.91	
	Cu2p ₃ Cu(OH) ₂	935.4	6801.7178	3.198	2126.8661	0.61	
	Cu2p ₃ Sat. Cu(II)	941.25	3488.0274	3.198	1090.6902	0.31	
Cu2p ₃ Sat. Cu(II)	944.4	2555.8595	3.198	799.20562	0.23		
Zn2p ₃	1022.49	37904.244	3.354	11301.205	3.25	3.25	

эффекта за счет адгезии карбоксилсодержащих полимеров к медной подложке, в какой-то степени препятствуя коалесценции частиц и обуславливая тем самым затраты большей энергии и времени для преодоления этого препятствия.

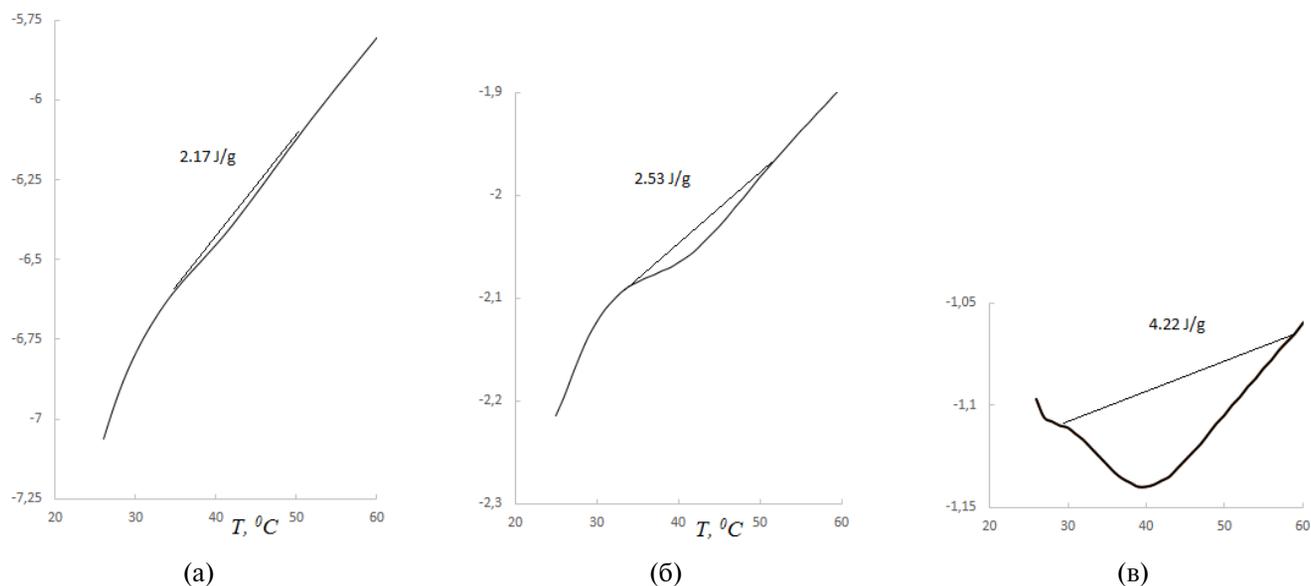
Таким образом на основании проведенных исследований показано, что тепловые эффекты, наблюдаемые при термогравиметрии обоих исследованных полимеров, являются следствием процесса удаления остаточных следов воды,

локализованных в межчастичном пространстве латексной пленки.

В случае гидрофильного полимера (М) фазовый переход при воздействии температурной обработки осуществляется с меньшим тепловым эффектом, что определяется его температурой стеклования.

Температурный интервал коалесценции частиц обоих полимеров лежит примерно в одном интервале с незначительным перевесом

Тепловой эффект, Вт/г



Тепловой поток, Вт/г

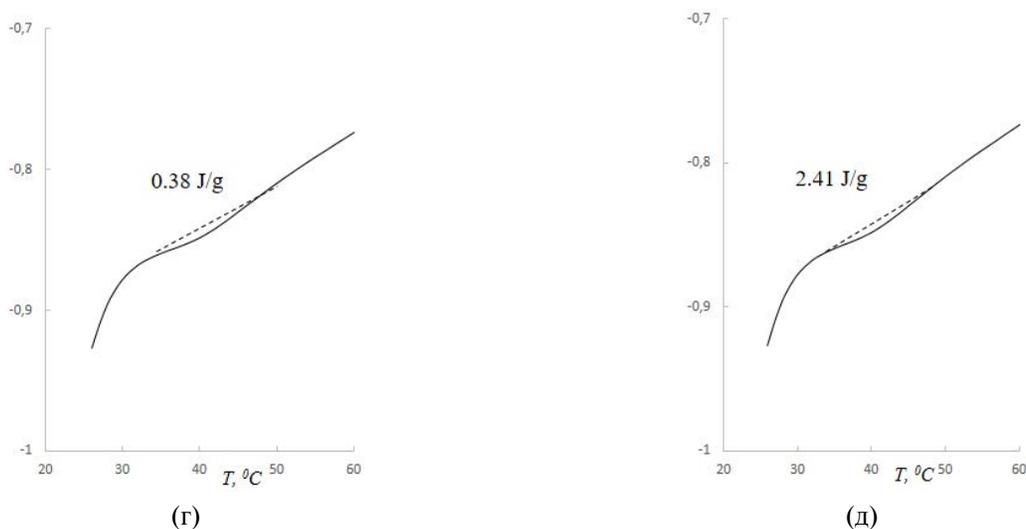


Рис. 4. Термогравиметрические кривые пленок (а-в) и покрытий (г, д) алкил(стирол)метакрилового полимера (А), не модифицированного (А0, АМ0) и модифицированного фталоцианином при концентрации 10^{-3} моль/л: А1 – 0.05; А2, АМ2 – 0.1.

в сторону менее эластичного полимера, коррелируя с более высоким максимальным температурным значением в области теплового эффекта.

С применением термогравиметрического метода удастся характеризовать эффект фталоцианинового модификатора на процесс пленкообразования, сопровождающийся коалесценцией латексных частиц акриловых полимеров, с одной стороны. С другой, анализ процесса коалесценции латексных частиц позволяет сделать определенные выводы о роли водорастворимого

модификатора на полимерную структуру полиакрилатов и локализацию остаточных следов воды в межчастичных областях пленок и покрытий, а также роли металлической поверхности, на которой локализуется полимерная пленка, на коалесценцию полимерных частиц.

При термогравиметрии обоих исследованных акриловых полимеров их модификация водорастворимым фталоцианином сопровождается ростом теплового эффекта, что можно связать с увеличением температуры стеклования

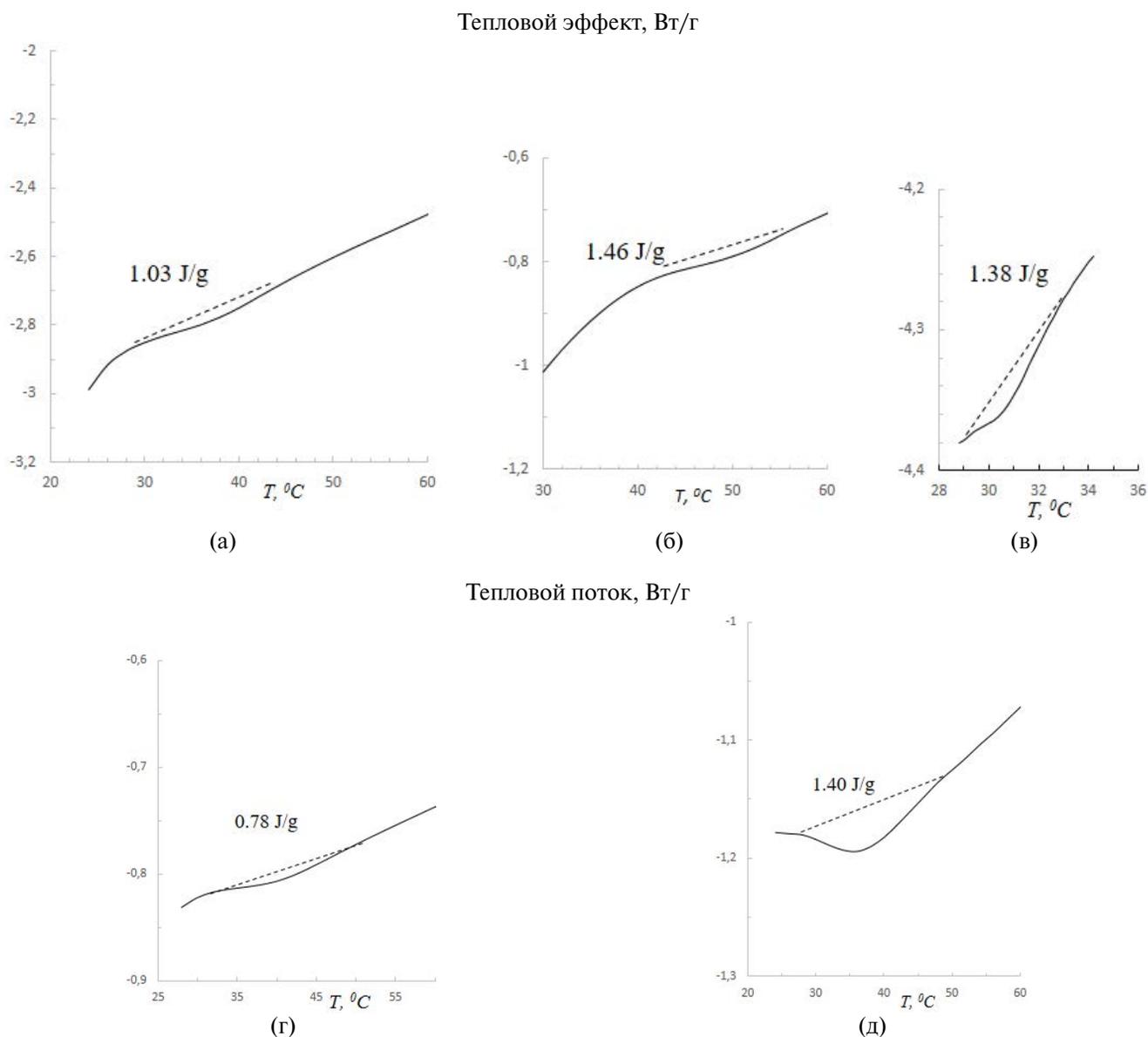


Рис. 5. Термогравиметрические кривые пленок (а-в) и покрытий (г, д) алкил(мет)акрилового полимера (М), не модифицированного (М0, М0М) и модифицированного фталоцианином при концентрации. 10^{-3} моль/л: М1, М1М – 0.05; М2 – 0.1.

Таблица 4. Температурные значения начала теплового эффекта при термогравиметрии пленок и покрытий на основе алкилстирол(мет)акрилового (А) и алкил(мет)акрилового полимеров (М)

С.10 ³ , моль/л	Полимер (А)		Полимер (М)	
	Пленка А	Покрытие АМ	Пленка М	Покрытие ММ
0	34.2	37.5	32.8	34.1
0.05	33.0	35.5	32.0	30.7
0.10	30.7	32.1	29.4	34.0

и соответственно минимальной температуры пленкообразования.

Металлическая поверхность, на которой локализуется латексная полимерная пленка, существенно влияет на процесс коалесценции частиц, как немодифицированного, так модифицированного латексного полимера, что сопровождается ростом теплового эффекта и начальной температуры его проявления.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят научных сотрудников Института И.В. Сенчихина и М.Р. Киселева за анализ и обсуждение термогравиметрических данных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН при финансовой поддержке Минобрнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *McKeown N.B.* Phthalocyanine Materials-Synthesis. Structure and Function. Cambridge University Press. Cambridge. 1998.
2. *Leznoff C.C., Lever A.B.P.* (Eds.). *Tebello Nyokong.* // Phthalocyanines-Properties and Applications, V. 1–4. VCH N.Y. 1989/1992/1993/1996.
3. *Rosenthal I.* // Photochem. Photobiol. 1991. V. 53. P. 859.
4. *Spikes J.D.* // Photochem. Photobiol. B: Diol. 1990. V. 6. P. 259.
5. *Aslamazova T.R., Averin A.A., Zolotarevski V.I., Kotenev V.A., Lomovskaya N.Yu., Lomovskoi V.A., Tsivadze A.Yu.* // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2017. V. 53. № 3. P. 437.
6. *Aslamazova T.R., Zolotarevski V.I., Kotenev V.A., Lomovskaya N.Yu., Lomovskoi V.A., Tsivadze A.Yu.* // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2018. V. 54. № 2. P. 57.
7. *Крылов А.В., Толмачев И.А., Васильев В.К.* // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 11. С. 14.
8. *Андрюцкая О.М.* // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 12. С. 34.
9. *Dhami D., Philips D.* // J. Photochem, / Photobiol. A: Chem. 1996. V. 100. P. 77.
10. *Edrei R., Goofried V., van Lier J.E., Kimel S.* // J. Photochem./PhotobiolA: Chem. 1998. V. 2. P. 191.
11. *Amdros M., Beeby A., MacRobert A.J. et al.* // J. Photochem / Photobiol. A: Biol. 1998. V. 2. P. 191.
12. *Кунин Л.Л.* Поверхностные явления в металлах. М., 1955.
13. *Миссол В.* Поверхностная энергия раздела фаз в металлах. М., 1978.
14. *Егоров С.Н.* Расчет поверхностной энергии металлов в твердом состоянии // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2003. № 3. С. 132–134.
15. Поверхностная энергия разных материалов. Серия обучающих материалов об адгезии // Наука об адгезии. ЗМРоссия. www.3mrossia.
16. *Олешко В.С., Пиговкин И.С.* Оперативное определение поверхностной энергии металлических деталей авиационной техники // Интернет-журнал “Науковедение”. 2016. Т. 8. № 3. (май–июнь). <http://naukovedenie.ru>.
17. *Ferrante J., Smit J.R.* Теория адгезионных эффектов перекрытия биметаллических интерфейсов // *Phys.Rev.* 1972. V 6. № 3. P. 875–887.
18. *Кобелева Р.М., Гельчинский Б.Р., Ухов В.Ф.* К расчету поверхностной энергии металлов в модели дискретного положительного заряда // Физика металлов и материаловедения. // 1978. Т. 48. № 1. С. 25–32.
19. *Нефедов В.И.* Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. М.: Химия, 1984–256 с.
20. *Коутс А.У., Редферн Дж. П.* Термогравиметрический анализ: обзор // Аналитик. 1963. Т. 88. № 1053. С. 906–924. Bibcode: 1963. Analytic. 88. 906 С. DOI: 10.1039/AN9638800906.
21. *Лю Х., Ю У.* Оценка термической стабильности высокопроизводительных волокон методом TGA // Журнал прикладной науки о полимерах. 2006. Т. 99. № 3. С. 937–944. DOI: 10.1002/app.22305.
22. *Елусеева В.И.* Эмульсионная полимеризация и ее применение в промышленности. М.: Химия, 1976.
23. *Елусеева В.И.* Полимерные дисперсии. М.: Химия, 1980.
24. *Aslamazova T.R., Grafov O.D., Kotenev V.A.* // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2022. V. 58. № 6. P. 1141–1149.
25. *Aslamazova T.R., Kotenev V.A., Lomovskaya N.Yu., Lomovskoi V.A., Tsivadze A.Yu.* // Physical Chemistry. A. 2022. V. 96. № 5. P. 1062–1069.
26. *Aslamazova T.R., Kotenev V.A., Lomovskaya N.Yu.* // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2022. V. 58. № 2. P. 325–332.
27. *Aslamazova T.R., Kotenev V.A., Lomovskaya N.Yu., Lomovskoi V.A., Tsivadze A.Yu.* // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. V. 53. № 3. P. 346–354.