

УДК 678.019.36:678.764.43

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-12-295-118-125

Ю. Н. Каменев, Д. А. Кудрявцева, Д. Р. Кувшинова
С. В. Борисов, М. А. Ваниев, А. Б. Кочнов, И. А. Новаков

**ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПОЛИВИНИЛБУТИРАЛЕМ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ДИ(1-МЕТАКРИЛОКСИ-3-
ХЛОПРОПОКСИ-2-)МЕТИЛФОСФОНАТА И 2-ГИДРОКСИПРОПИЛМЕТАКРИЛАТА***

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: borisov.volgograd@yandex.ru

Методом динамического механического анализа исследовано изменение модуля упругости и тангенса угла механических потерь материалов на основе растворов поливинилбутирала в смеси мономеров ди(1-метакрилокси-3-хлорпропокси-2-)метилфосфоната и 2-гидроксипропилметакрилата. Отмечено наличие нескольких пиков на температурных зависимостях $\tan \delta$, что, вероятно, связано с наличием областей, отличающихся плотностью сшивки. При 10 % масс. содержании поливинилбутирала в процессе (со)полимеризации протекает его частичная миграция к поверхности формирующегося полимерного материала.

Ключевые слова: фосфорсодержащий диметакрилат, поливинилбутираль, динамический механический анализ, тангенс угла механических потерь, модуль упругости

По результатам проведенных ранее исследований [1–2] разработаны полимер-мономерные композиции (ПМК) на основе растворов поливинилбутирала (ПВБ) в смеси ди(1-метакрилокси-3-хлорпропокси-2-)метилфосфоната (ФОМ-II) и 2-гидроксипропилметакрилата (2-ГПМА). Продукты полимеризации разработанных ПМК представляют собой оптически прозрачные (коэффициент светопропускания при длине волны 670 нм достигает 89 %) высокосшитые (содержание гель-фракции 92–95 % масс.) полимерные материалы с повышенной адгезией к стеклу (до 30,5 МПа при сдвиге) и пониженной горючестью (величина кислородного индекса 24,0–32,5 % об.). Вместе с тем течение разработанных ПМК описывается двухэлементной механической моделью, включающей вязкую и пластично-текучую деформации среды, что обусловлено межмолекулярными взаимодействиями макромолекул ПВБ с молекулами метакриловых мономеров [1]. В этой связи термохимически инициированная полимеризация в присутствии пероксида бензоила протекает по микрогетерогенному механизму, сопровождаясь несколькими последовательными и/или параллельными процессами, имея ввиду (со)полимеризацию мономеров (ФОМ-II и 2-ГПМА) как в объемах микрореакторов, так и в периферийных, гораздо менее плотных зонах, при значительном избытке 2-ГПМА, вытесняемого в эти зоны из более плотных областей за счет синерезиса. Кроме того, макромолекулы растворенного поливи-

нилбутирала в процессе протекания полимеризации могут служить зародышами частиц микрогеля, которые по мере образования сополимера с ростом конверсии также превращаются в микрореакторы, полимеризация в которых протекает параллельно с основным процессом [2]. В целом эта информация предопределяет вероятность зарождения в формируемом полимерном материале блоков, отличающихся по структуре и свойствам. Сведения о молекулярной подвижности, фазовых и релаксационных переходах, физических и других процессах, происходящих в полимерных материалах, позволяет получить метод динамического механического анализа (ДМА) [3–5]. В связи с этим целью работы является исследование влияния поливинилбутирала, растворенного в смеси мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА, на структуру и вязкоупругие свойства получаемых полимеров.

Экспериментальная часть

Для исследований использовали ПВБ марки «B-60H Movital» (производитель Kuraray Specialities Europe GmbH, Германия) с молекулярной массой 95000, содержащий 18–21 % винилспиртовых, 75–80 % винилбутиральных и не более 4 % винилацетатных звеньев. Диметакрилат ФОМ-II был синтезирован по способу [6], позволяющему получать бесцветный прозрачный продукт. 2-ГПМА (производитель ООО «Лаборатория метакриловых мономеров», г. Дзержинск) содержал > 97 % основного вещества и *n*-метоксифенол в качестве стабилизатора.

© Каменев Ю. Н., Кудрявцева Д. А., Кувшинова Д. Р., Борисов С. В., Ваниев М. А., Кочнов А. Б., Новаков И. А., 2024.

* При выполнении работы использовано оборудование ЦКП «Физико-химические методы исследования» Волгоградского государственного технического университета.

Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 17/658-24.

Образцы сополимеров получали радикальной полимеризацией в массе в присутствии 1 % пероксида бензоила (ПБ) при температуре 60 °С. В дальнейшем образцы выдерживали при тем-

пературе 70 °С в течение одного часа и 80 °С в течение одного часа.

Рецептуры исследуемых композиций приведены в таблице.

Рецептуры исследуемых композиций

Наименование компонента	Шифр рецептуры								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Массовое соотношение, %								
ФОМ-II	70,0	60,0	50,0	40,0	30,0	63,3	65,3	66,0	66,7
2-ГПМА	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	31,7	32,7	33,0	33,3
ПВБ	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	2,0	1,0	0,0

Исследования методом динамического механического анализа осуществлялись с использованием прибора «Netzsch DMA 242E». В качестве режимов измерения использовали двухплечевой изгиб при фиксированной частоте 1 Гц и амплитуде 50 мкм. Скорость нагрева образца составляла 1 °С/мин. Данные обрабатывались с использованием программного обеспечения Netzsch Proteus 6.1.0.

Морфологию поверхности сополимеров и их надмолекулярную структуру изучали посредством атомно-силовой микроскопии с использованием сканирующего микроскопа «Solver PRO» при увеличении участка объекта в 10^4 раз.

ИК-Фурье спектральный анализ проводили в режиме отражения на приборе «Nicolet-6700» (Termo Electron Co).

Обсуждение результатов

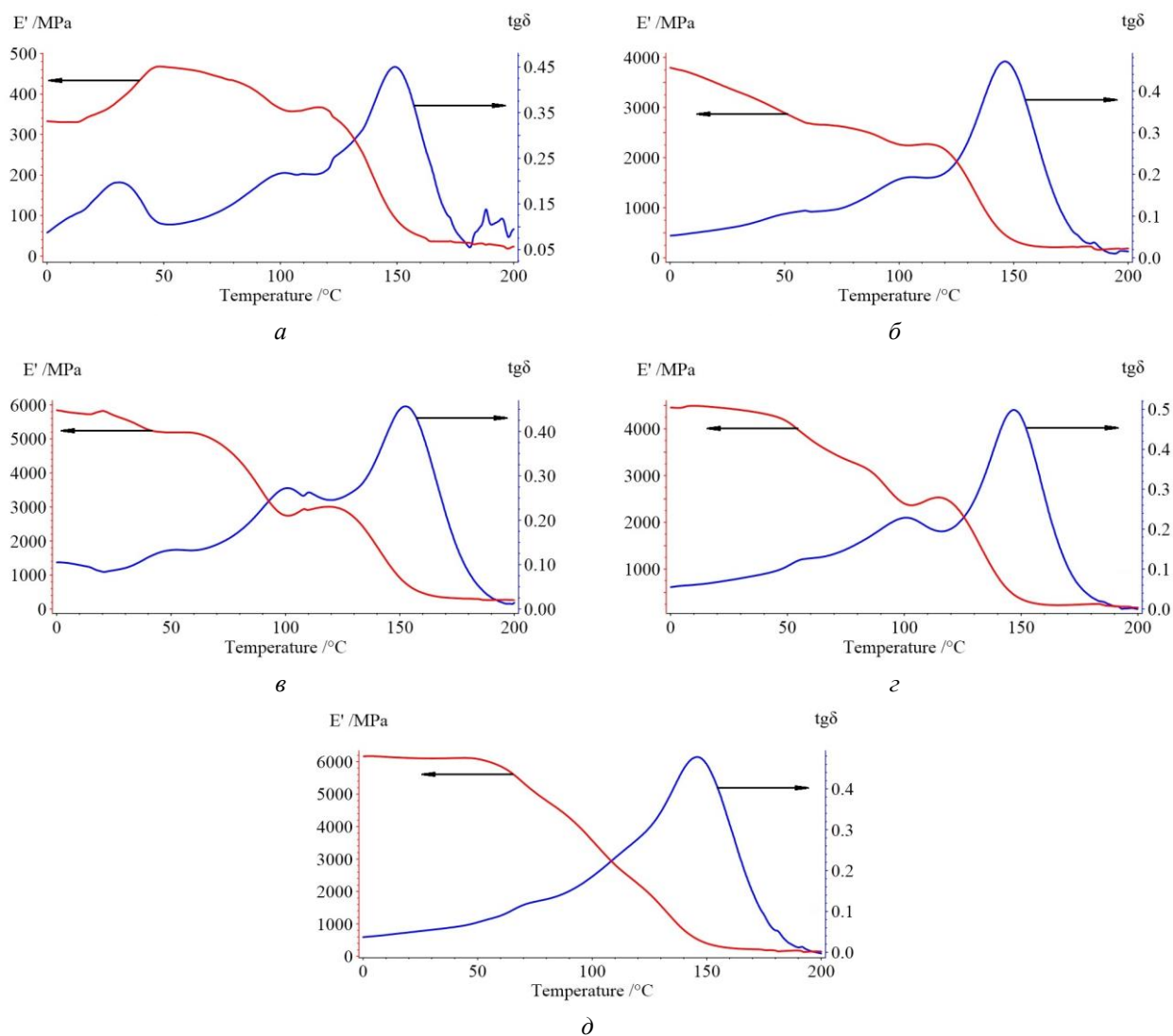
На рис. 1 приведены совмещенные зависимости модуля накопления (E') и тангенса угла механических потерь ($\tan\delta$), характеризующие изменения этих показателей в области температур от 0 до 200 °С для образцов на основе растворов ПВБ в смеси мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА, взятых в массовом соотношении 2:1 (рецептуры 5–9 согласно таблице).

Сопоставляя температурные зависимости тангенса угла механических потерь, необходимо отметить наличие достаточно большого количества пиков. Это, вероятнее всего, обусловлено наличием в структуре полимерной сетки областей (блоков), отличающихся плотностью сшивки. При этом доминирующую роль в данном эффекте играет диметакрилат ФОМ-II, что подтверждают данные рис. 3, а. Предположительно это может быть связано с присутствием в используемом ди(1-метакрилокси-3-хлорпро-

покси-2-)метилфосфонате реакционноспособных примесей и изомеров [7]. Увеличение содержания в рецептуре полимеров ПВБ приводит к снижению количества пиков на температурных кривых $\tan\delta$. Это может быть обусловлено особенностями трехмерной структуры полимерного материала, формирующейся в условиях микрогетерогенного механизма радикальной полимеризации, которая сопровождается несколькими последовательными и/или параллельными процессами, а именно (со)полимеризацией мономеров (ФОМ-II и 2-ГПМА) как в объемах микрореакторов, так и в периферийных гораздо менее плотных зонах при значительном избытке 2-ГПМА, вытесняемого в эти зоны из более плотных областей за счет синерезиса. В свою очередь, это приводит к формированию областей (блоков) отличающихся степенью сшивки.

Наиболее выраженные максимумы на этих кривых, которые отождествляют с температурой стеклования [8–10], имеют близкие значения и локализованы в области температур 145 ± 5 °С. Это следует из данных обработки кривых рис. 1, которые представлены в виде зависимости (рис. 2, а).

Как следует из графика (рис. 2, а), прямой зависимости температурного максимума $\tan\delta$ от содержания ПВБ нет, несмотря на то, что температура стеклования исследуемого ПВБ равна 70 °С [11]. При этом значения $T_{\max \tan\delta}$ изменяются в пределах 142–149 °С. Соответствующим образом это отражается и на зависимости модуля упругости (рис. 2, б). Кроме того, обращает на себя внимание существенно более высокие значения E' , присущие для образцов, содержащих ПВБ.



Режим измерения: двухплечевой изгиб, скорость нагрева 1 °С/мин,
частота нагружения – 1 Гц, нагрузка – 0,5 Н
Содержание ПВБ, % масс.: 0 (а), 1 (б), 2 (в) 5 (г) и 10 (д), соответственно

Рис. 1. Результаты ДМА образцов сополимеров, полученных сополимеризацией смеси мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА, взятых в массовом соотношении 2:1 при варьировании содержания поливинилбутирила

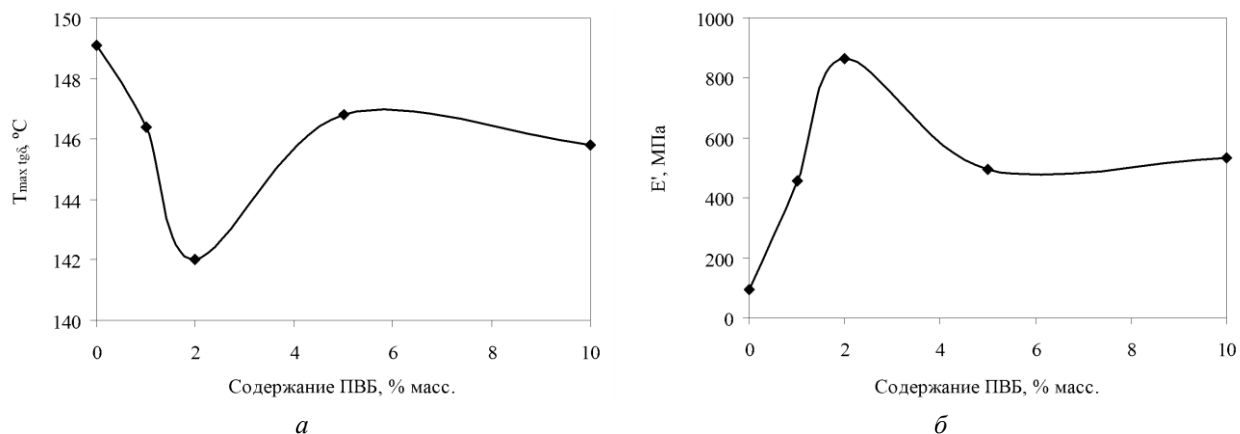
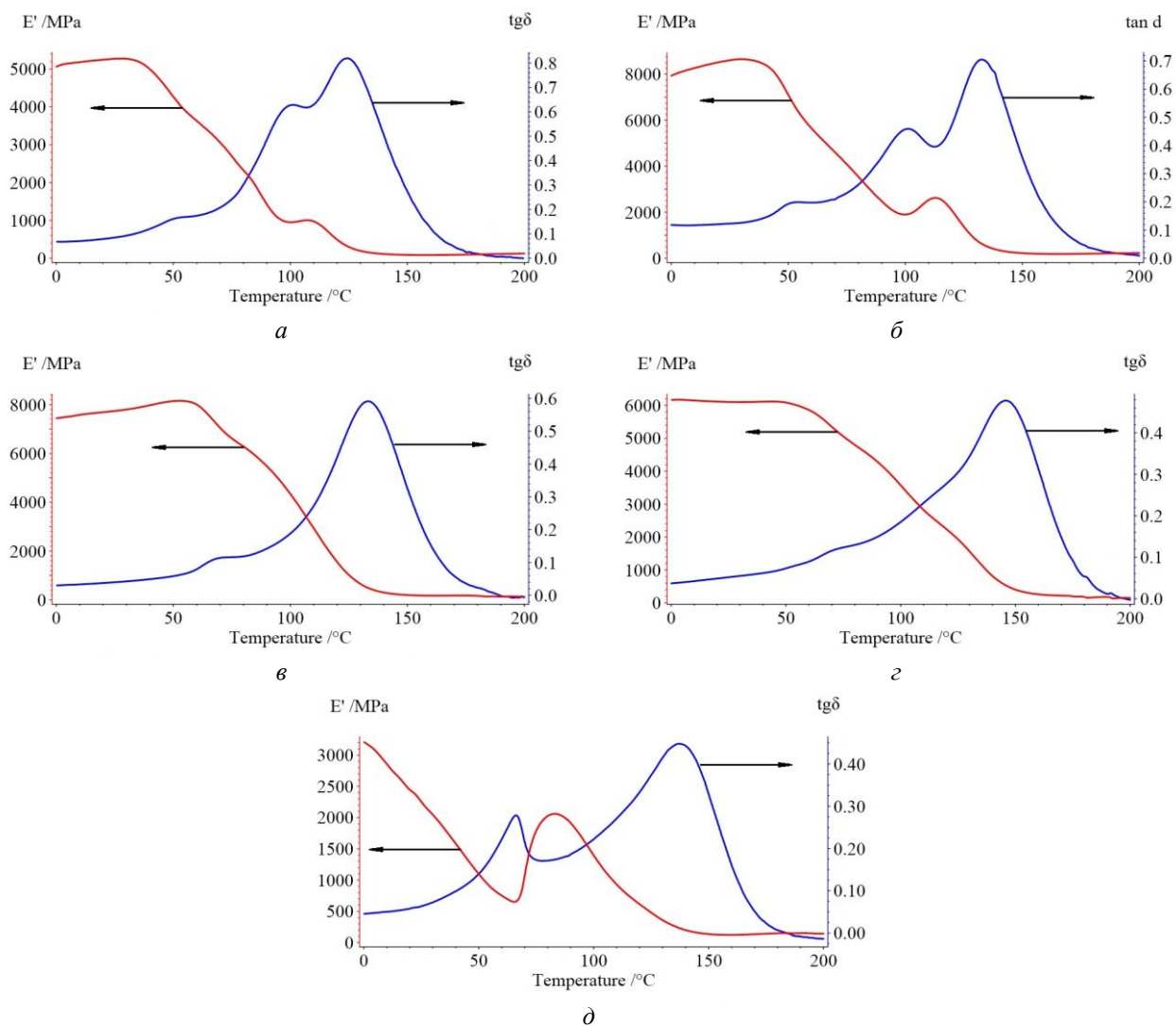


Рис. 2. Значение температуры ($T_{\max \text{ tg}\delta}$) (а) и модуль упругости (E') (б), соответствующий максимальному показателю тангенса угла механических потерь в зависимости от содержания ПВБ

Аналогичный эксперимент был проведен и применительно к образцам сополимеров, полученных в условиях термохимически инициированной полимеризации 10 % масс. растворов ПВБ, но в данном случае варьировали соотноше-

ние мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА (рецептуры 1–5 согласно таблице). Совмещенные температурные зависимости E' и $\text{tg}\delta$ представлены на рис. 3, а результаты их обработки приведены на рис. 4.



Режим измерения: двухплечевой изгиб, скорость нагрева 1 °C/мин, частота нагружения – 1 Гц, нагрузка – 0,5 Н
Соотношение мономеров (% масс.): а – ФОМ-II (30) + 2-ГПМА (60); б – ФОМ-II (40) + 2-ГПМА (50); в – ФОМ-II (50) + 2-ГПМА (40); г – ФОМ-II (60) + 2-ГПМА (30); д – ФОМ-II (70) + 2-ГПМА (20)

Рис. 3. Результаты ДМА образцов сополимеров, полученных термохимически инициированной полимеризацией (60 °C, 1 % масс. ПВБ) 10 %-ных растворов ПВБ в зависимости от соотношения мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА

Из данных (рис. 4, а) следует, что с увеличением содержания в ПМК диметакрилатного мономера имеет место увеличение температурного максимума $\text{tg}\delta$ от 124 до 147 °C. При этом для сополимера, полученного на основе композиции с содержанием ФОМ-II 60 % масс., наблю-

дается некоторое увеличение значения $T_{\max \text{tg}\delta}$. Иную картину можно проследить при анализе графической зависимости (рис. 4, б). В данном случае наибольшие и наименьшие значения E' характерны для образцов на основе ПМК, содержащих 40 и 70 % масс. ФОМ-II.

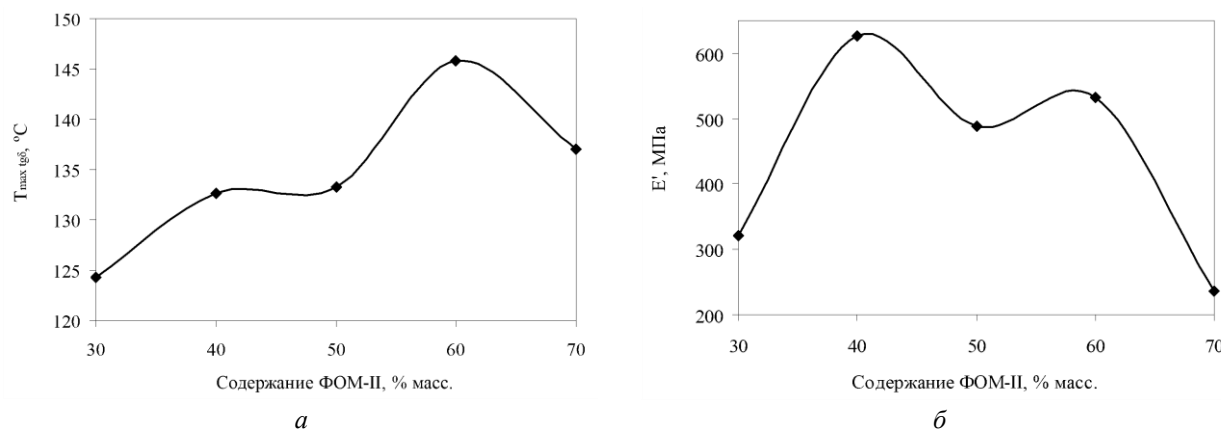
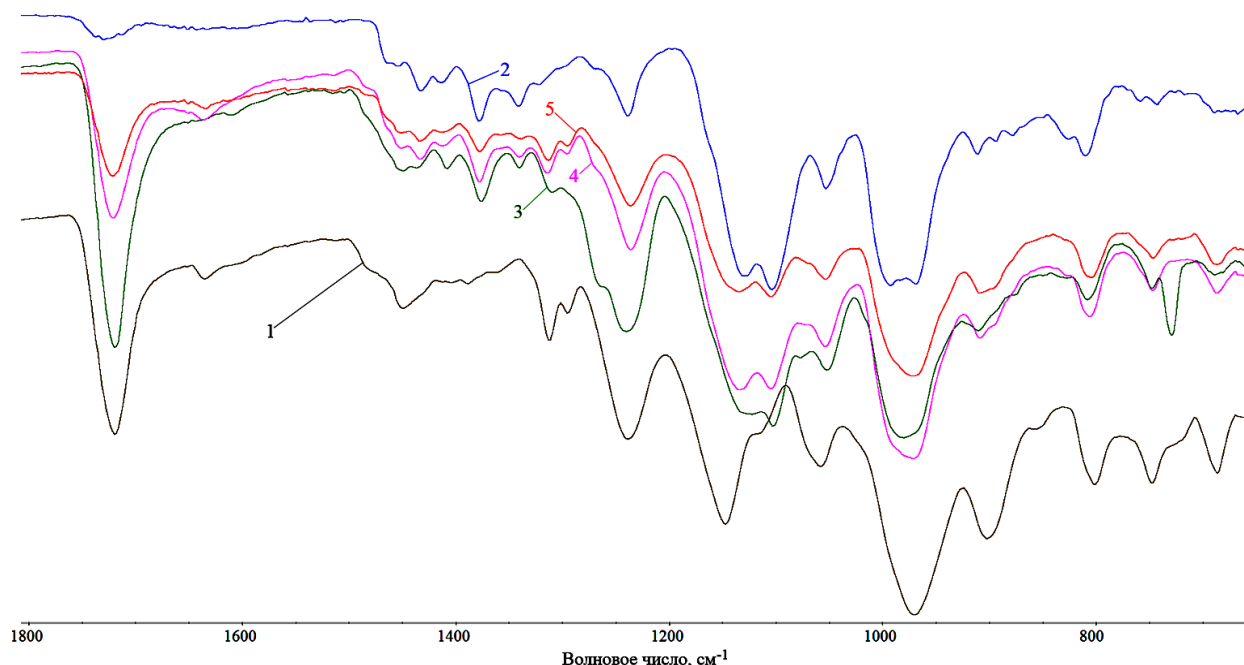


Рис. 4. Значение температуры ($T_{\max \text{ tg}\delta}$) (а) и модуль упругости (E') (б), соответствующий максимальному показателю тангенса угла механических потерь в зависимости от содержания диметакрилата ФОМ-II

Сопоставляя температурные зависимости тангенса угла механических потерь на рис. 1 и 3, можно видеть некоторые сходства, заключающиеся в наличии двух или трех пиков. Вероятно, в условиях варьирования соотношения мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА при постоянном содержании ПВБ также проявляются эффекты, обсуждаемые выше. Кроме того, на представленных кривых фиксируется пик в интервале температур, примерно от 50 до 75 °C, который можно отождествлять с температурой стеклования поливинилбутиряля. Можно предпо-

ложить, что при полимеризации ПМК происходит миграция ПВБ за счет формирования трехмерной структуры с высокой степенью сшивки [12]. Это также подтверждает содержание гель-фракции, которое по мере увеличения доли ФОМ-II с 30 до 70 % масс. растет с 91,7 до 94,2 % масс. соответственно [13].

При исследовании поверхности сополимеров с помощью ИК-спектроскопии в отраженном свете нами были получены результаты, представленные на рис. 5.

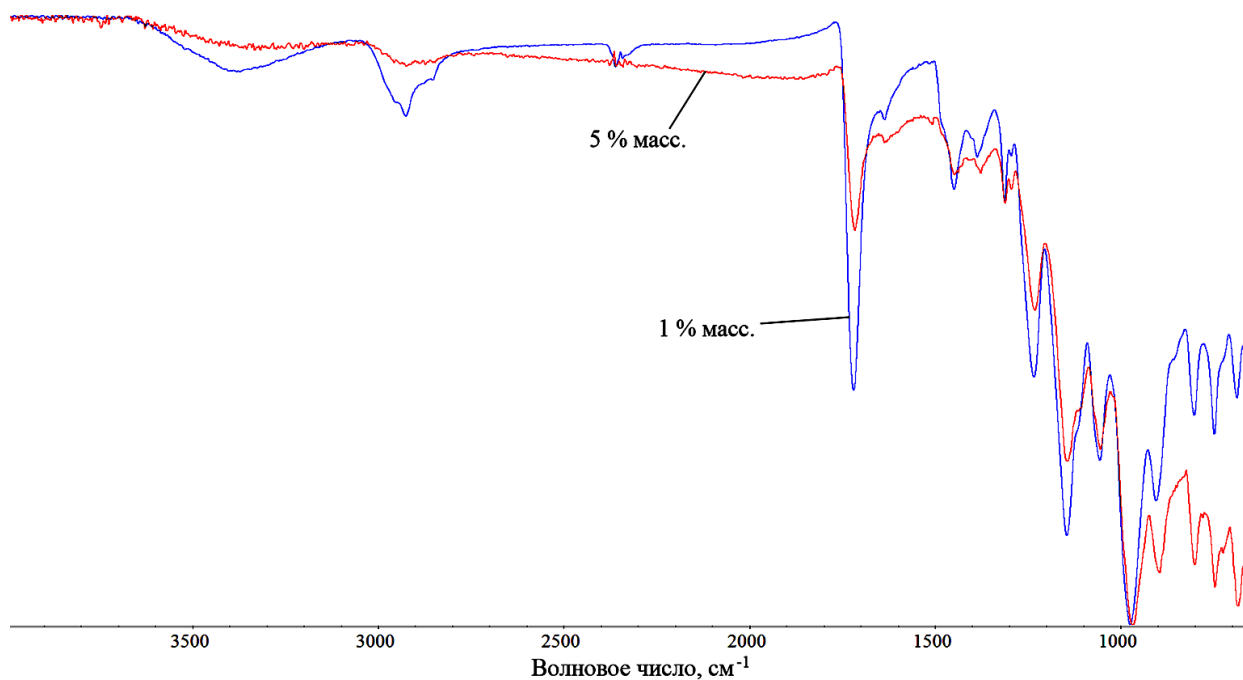


Образцы пленок ФОМ-II и сополимеров получены в условиях термохимически инициированной полимеризации при 60 °C, [ПВ] = 1 % масс. Образец пленки ПВБ получен из раствора в хлороформе. 1 – пленка гомополимера ФОМ-II; 2 – пленка ПВБ; 3, 4 и 5 – сополимеры на основе 10 %-ных растворов ПВБ в смеси мономеров ФОМ-II и 2-ГПМА, взятых в соотношении, % масс.: 30/60, 50/40 и 70/20, соответственно

Рис. 5. ИК-спектры (отражение) образцов пленок

Данные рис. 5 свидетельствуют о том, что в ИК-спектрах поверхности сополимеров (спектры 3, 4 и 5) отсутствуют полосы средней интенсивности, соответствующие деформационным ассиметричным колебаниям связи Р-С ($1320\text{--}1280\text{ см}^{-1}$), и сильные полосы поглощений валентных колебания Р=О связи ($1250\text{--}1150\text{ см}^{-1}$). При этом наблюдается характерная для ацетальной группы поливинилбутирала расщепленная полоса валентных ассиметричных колебаний ($1170\text{--}1115\text{ см}^{-1}$), а также свойственная метакриловым полимерам полоса валентных колебаний С=О связи ($\sim 1720\text{ см}^{-1}$) [14–16]. Следует отметить, что на ИК-спектрах поверхности сополимеров, отличающихся более низким содержанием ПВБ в исходной ПМК, присутствуют все полосы, характерные для

фосфорсодержащего диметакрилата (см. рис. 6). Другими словами, метод ИК-спектроскопии поверхности в отраженном свете позволил установить, что характер спектров образцов, полученных полимеризацией смеси ФОМ-II и 2-ГПМА в присутствии 10 %-ного растворенного ПВБ, в области $1600\text{--}800\text{ см}^{-1}$ практически идентичен спектру ПВБ (сравнение спектров 3, 4 и 5 со спектром 2 на рис. 5). Это обстоятельство подтверждает то, что в процессе трехмерной полимеризации полимер-мономерных композиций ПВБ и ассоциированный с ним 2-ГПМА частично локализуются на поверхности образующегося сшитого материала. Отметим, что данное явление более ощутимо проявляется при высоком (10 % масс.) содержании растворенного ПВБ.



Содержание растворенного ПВБ указано на кривых

Рис. 6. ИК-спектры отражения поверхности полимеров на основе растворов ПВБ в смеси мономеров ФОМ-II и ГПМА, полученных в условиях термохимически инициированной полимеризации ([ПВ] = 1 % масс., $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Выводы

Таким образом, разработанные сополимеры на макроуровне характеризуются достаточно высокой однородностью. Вместе с тем практически на всех температурных зависимостях тангенса угла механических потерь фиксируется два и более пика. По всей вероятности, таким образом проявляется микрогетерофазность в изучаемых сополимерах, что предположи-

тельно является следствием их структурных особенностей, выражающихся в наличии полувзаимопроникающих сеток, фазы материалов, обогащенной одним из компонентов. Кроме того, при повышенном содержании поливинилбутирала 10 % масс. в процессе (со)полимеризации протекает его частичная миграция к поверхности формирующегося полимерного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование реологических свойств растворов поливинилбутирала в метакриловых мономерах / И. А. Новаков, С. В. Борисов, А. Б. Кочнов, М. А. Ваниев // Клеи. Герметики. Технологии. – 2018. – № 3. – С. 22–27.
2. Особенности радикальной термохимически инициированной сополимеризации смесей метакриловых мономеров в присутствии растворенного поливинилбутирала / И. А. Новаков, М. А. Ваниев, С. В. Борисов [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 6. – С. 758–766. – DOI 10.1134/S0044461819060082. – EDN WEFRJH.
3. Исследование влияния модификаторов на полимерное связующее фрикционных материалов методом ДМА / А. Д. Насонов, Ф. М. Бетеньков, А. М. Белоусов, А. А. Викторов // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2–1. – С. 141–145.
4. Джангуразов, Б. Прогнозирование предельных характеристик нанокмппозитов / Б. Джангуразов, Г. Козлов, А. Микитаев // Наноиндустрия. – 2009. – № 5. – С. 26–28.
5. Маламатов, А. Х. Молекулярные аспекты формирования межфазных слоев в полимерных нанокмппозитах с эпоксидной матрицей / А. Х. Маламатов, Г. В. Козлов // Современные проблемы науки и образования. – 2005. – № 1. – С. 64–65.
6. Пат. 2 284 330 Российская Федерация, МПК С 07 F 9/09, 9/40. Способ получения фосфорхлорсодержащих метакрилатов / И. А. Новаков, Г. Д. Бахтина, А. Б. Кочнов; патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». – № 2005121804/04; заявл. 11.07.2005; опубл. 27.09.2006, Бюл. № 27.
7. Ветютнева, Ю. В. Синтез фосфорсодержащих метакрилатов взаимодействием хлорангидридов кислот фосфора с глицидилметакрилатом / Ю. В. Ветютнева [и др.] // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 2 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов»; вып. 6). – С. 83–87.
8. Определение теплостойкости эпоксидных матриц методом ДМА / Д. А. Мельников, А. А. Громова, Н. А. Гордилова, А. Г. Загора // Труды ВИАМ. – 2023. – № 7(125). – С. 114–124. – DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-114-124.
9. Изучение влияния полиэфиримида на свойства связующего на основе эпоксидного олигомера ЭД-20 методом динамического механического анализа / Р. И. Сопортов, С. В. Зюкин, В. А. Бродский [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2014. – № 11. – С. 51–55.
10. Динамические механические свойства, термо- и теплостойкость пленок мультиблочных сополи(уретан-имид)ов с графеном и дисульфидом вольфрама / А. Л. Диденко, В. Е. Смирнова, Е. Н. Попова [и др.] // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2019. – № 8. – С. 1603–1612.
11. PVB RESIN [Электронный ресурс] / Kuraray Europe GmbH, 2017. – Режим доступа: <https://www.mowital.com/index.php>.
12. Термомеханические свойства сополимеров, получаемых на основе растворов поливинилбутирала в смеси ди(1-метакрилокси-3-хлорпропокси-2-)метилфосфоната и 2-гидроксипропилметакрилата / С. В. Борисов, М. А. Ваниев, А. Б. Кочнов [и др.] // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 12 (222) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – С. 92–98.
13. Изучение фосфорсодержащих полимер-мономерных композиций на основе поливинилбутирала / С. В. Борисов, М. А. Ваниев, А. Б. Кочнов [и др.] // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 7 (134) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – С. 161–165.
14. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффельтер. – Пер. с англ. – М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 438 с.
15. Кросс, А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию / А. Кросс. – Пер. с англ. – М.: Изд. иностр. Литерат., 1961. – 111 с.
16. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффельтер. – Пер. с англ. – М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 438 с.

REFERENCES

1. Investigation of rheological properties of polyvinyl butyral solutions in methacrylic monomers / I.A. Novakov, S.V. Borisov, A.B. Kochnov, M.A. Vaniev // Adhesives. Sealants. Technologies. – 2018. – № 3. – pp. 22 - 27.
2. Novakov, I. A., Vaniev M.A., Borisov S.V., Sidorenko N.V., Kochnov A.B., Bakhtina G.D. Specific features of thermochemically initiated radical copolymerization of mixtures of methacrylic monomers in the presence of dissolved polyvinyl butyral / Russian Journal of Applied Chemistry. 2019. T. 92. № 6. С. 787-795.
3. Investigation of the influence of modifiers on the polymer binder of friction materials by DMA method / A. D. Nasonov, F. M. Betenkov, A. M. Belousov, A. A. Viktorov // Polzunov Bulletin. - 2006. - № 2-1. – pp. 141-145.
4. Dzhangurazov, B. Prediction of the limiting characteristics of nanocomposites / B. Dzhangurazov, G. Kozlov, A. Mikitaev // Nanoindustry. – 2009. – № 5. – pp. 26-28.
5. Malamatov, A. H. Molecular aspects of interfacial layers formation in polymer nanocomposites with epoxy matrix / A. H. Malamatov, G. V. Kozlov // Modern problems of science and education. – 2005. – № 1. – pp. 64-65.
6. Pat. 2 284 330 Russian Federation, MPK C 07 F 9/09, 9/40. Method for preparation of phosphorus-chlorinated methacrylates / I. A. Novakov, G. D. Bakhtina, A. B. Kochnov; patentee GOU VPO "Volgograd State Technical University". – № 2005121804/04; applied. 11.07.2005; published 27.09.2006.
7. Vetyutneva, Yu. V. Synthesis of phosphorus-containing methacrylates by interaction of phosphorus acid chlorohydrides with glycidyl methacrylate / Yu. V. Vetyutneva [et al.] // Izv. VolgGTU. Series "Chemistry and technology of organoelement monomers and polymeric materials". Vyp. 6: interuniversity collection of scientific articles / VolgGTU. – Volgograd, 2009. – № 2. – pp. 83 - 87
8. Determination of epoxy matrix heat resistance by DMA method / D. A. Melnikov, A. A. Gromova, N. A. Gordilova, A. G. Zagora // Proceedings of VIAM. – 2023. – № 7(125). – pp. 114-124. – DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-114-124.
9. Study of polyetherimide influence on properties of binder based on epoxy oligomer ED-20 by dynamic mechanical analysis method / R. I. Soportov, S. V. Zyukin, V. A. Brodsky [et al.] // Chemical Industry Today. – 2014. – №11. – pp. 51-55.
10. Dynamic mechanical properties, thermal and heat resistance of films of multi-block copoly(urethane-imide)s with graphene and tungsten disulfide / A. L. Didenko, V. E. Smirnova, E. N. Popova [et al.] // Izvestia Akademia Nauk. Series chemical. – 2019. – № 8. – pp. 1603-1612.
11. PVB RESIN [Electronic resource] / Kuraray Europe GmbH, 2017. – Access mode: <https://www.mowital.com/index.php>
12. Thermomechanical properties of copolymers derived from solutions of polyvinyl butyral in a mixture of di(1-methacryloyloxy-3-chloropropoxy-2-)methylphosphonate and

2-hydroxypropyl methacrylate / S. V. Borisov, M. A. Vaniev, A. B. Kochnov [et al.] // Proceedings of Volgograd State Technical University. – 2018. – № 12(222). – pp. 92-98.

13. Study of phosphorus-containing polymer-monomer compositions based on polyvinylbutyral / S. V. Borisov, M. A. Vaniev, A. B. Kochnov [et al.] // Izvestiya Volgograd State Technical University. – 2014. – № 7(134). – pp. 161-165.

14. *Pretsch, E.* Determination of the structure of organic

compounds. Tables of spectral data / E. Prech, F. Bühlmann, K. Affolter. - Per. from Engl. – Moscow: World; BINOM. Laboratory of Knowledge, 2006. – 438 p.

15. *Cross, A.* Introduction to practical infrared spectroscopy / A. Cross. - Per. from Engl. – Moscow: Foreign literature publishing house, 1961. – 111 p.

16. *Dehant, I.* Infrared spectroscopy of polymers / I. Dehant, R. Danz, W. Kimmer, R. Schmolke; ed. by E.F. Oleinik. - Moscow: Chemistry, 1976. – 472 p.

**Y. N. Kamenev, D. A. Kudryavtseva, D. R. Kuvshinova, S. V. Borisov
M. A. Vaniev, A. B. Kochnov, I. A. Novakov**

**DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS OF POLYVINYL BUTYRAL-MODIFIED
COPOLYMERS BASED ON DI(1-METHACRYLOYLOXY-3-CHLOROPROPOXY-
2-METHYLPHOSPHONATE AND 2-HYDROXYPROPYL METHACRYLATE**

Volgograd State Technical University

Abstract. The change of elastic modulus and tangent of angle of mechanical loss of materials based on polyvinyl butyral solutions in a mixture of monomers of di(1-methacryloyloxy-3-chloropropoxy-2-methylphosphonate and 2-hydroxypropyl methacrylate has been investigated by the method of dynamic mechanical analysis. The presence of several peaks on the temperature dependences of $\tan \delta$ was observed, which is probably due to the presence of regions differing in crosslinking density. At 10 wt. % of polyvinylbutyral content in the process of (co)polymerization its partial migration to the surface of the formed polymeric material occurs.

Keywords: phosphorus-containing dimethacrylate, polyvinyl butyral, dynamic mechanical analysis, mechanical loss angle tangent, elastic modulus