

DOI: 10.12737/article_58ddfc7bea0549.53745809

*Кочергин Ю.С., д-р техн. наук, проф.,
Золотарева В.В., канд. техн. наук, доц.
Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского
Григоренко Т.И., канд. техн. наук*

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-КАУЧУКОВЫХ ПОЛИМЕРОВ

viktoria802@gmail.com

В широком интервале концентраций модифицирующих добавок карбоксильных бутадиеновых каучуков и тиокола исследована стойкость к износу эпоксидных композитов. Показано, что износостойкость эпоксидно-каучуковых композиционных материалов зависит от концентрации каучука, его химической природы и режима отверждения композиции. Наблюдаемый эффект связан со степенью термодинамической совместимости компонентов на стадии совмещения эпоксидной смолы и каучука, а также процессами фазового разделения эпоксидного и каучукового компонентов при отверждении композиции.

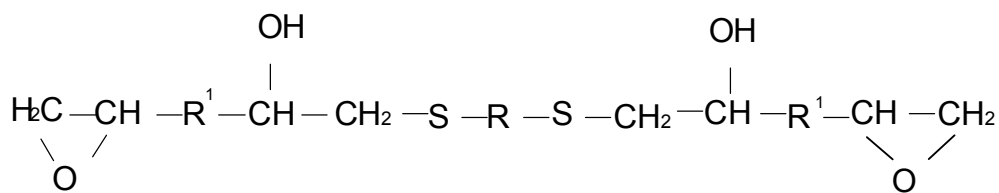
Ключевые слова: *эпоксидная смола, олигобутадиеновый каучук, тиокол, режимы отверждения деформационно-прочностные свойства, износостойкость, фазовое разделение.*

Введение. В настоящее время потери на трение составляют до 30 % потребляемой в мире энергии, а расходы на устранение преждевременного износа машин и сооружений достигают до 2 % валового национального продукта промышленно развитых стран. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых строительных износостойких конструкционных материалов с целью повышения износостойкости и увеличение срока службы конструкций, машин и механизмов, работающих в разных отраслях народного хозяйства. Среди материалов, обеспечивающих повышение износостойкости, все более заметную роль играют полимеры и композиционные материалы на их основе, в частности композиты на основе эпоксидных смол, что обусловлено их высокими физико-механическими и адгезионными свойствами и достаточно хорошими трибологическими характеристиками.

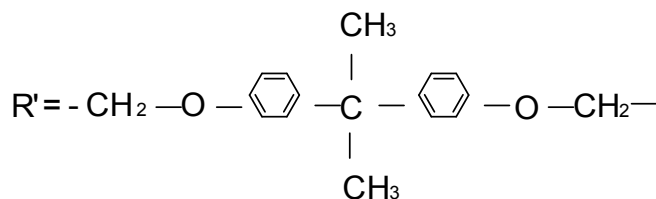
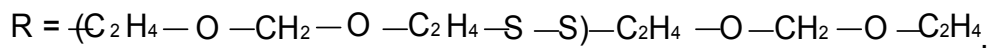
Отвержденные эпоксидные смолы характеризуются сравнительно невысокими ударопрочностью и трещиностойкостью [1–3], что в значительной мере ограничивает их применение при воздействии ударных и вибрационных нагрузок, а также резких перепадов температуры. Одним из наиболее эффективных путей устранения данных недостатков является модификация эпоксиполимеров (ЭП) низкомолекулярными каучуками с концевыми реакционноспособными группами [4, 5]. Хотя механизм упрочнения ЭП каучуками до настоящего времени в полной мере не установлен, эффект широко используется для повышения статической

и динамической адгезионной прочности, ударо-, и вибростойкости эпоксидных материалов [4, 6, 7]. Влияние реакционноспособных жидких каучуков на износостойкость ЭП практически не изучено (исключение составляют лишь эпоксидные композиции, содержащие тиокол [8, 9]). В связи с этим нами была предпринята попытка восполнить этот пробел.

Методология. В качестве каучуков были использованы бутадиеновые олигомеры с концевыми карбоксильными группами СКД-КТРА и СКН-30КТР (далее соответственно СКД и СКН-30), а также тиокол с концевыми сульфгидрильными группами. Для усиления эффекта модифицирования совмещение каучуков с эпоксидной смолой проводили при повышенной температуре (160°C) в течение 2-х часов. В этом температурно-временном диапазоне, как было показано ранее [4, 10, 11], происходит химическое связывание молекул каучука и смолы за счет реакции этерификации карбоксильных групп с эпоксигруппами [10] и молекул тиокола со смолой за счет реакции тиоэтерификации сульфгидрильных и эпоксидных групп [11, 12]. Таким образом, объектами исследования служили не механические смеси индивидуальных компонентов, а продукты реакции их взаимодействия, представляющие собой блок-олигомеры, содержащие одну молекулу каучука и две молекулы эпоксидной смолы. Так, в случае тиокола блок-олигомер имеет следующее строение:



где:



В качестве эпоксидной смолы для исследования была использована промышленная диановая смола марки ЭД-20 с молекулярной массой 400 и содержанием эпоксидных групп 21,4 %. В качестве жидких каучуков использовали поли-

сульфидный каучук (тиокол марки I), карбоксилированный олигобутадиеновый каучук марки СКД-КТРА и карбоксилированный сополимер олигобутадиена с акрилонитрилом марки СКН-30КТР, свойства которых приведены в таблице.

Таблица 1

Свойства жидких каучуков

Марка каучука	Молекулярная масса	Содержание акрило-нитрила, %	Содержание карбоксильных групп, %	Содержание сульфидных групп, %	Параметр растворимости δ (МДж/м ³) ^{0,5}
Тиокол	2000	0	0	3,1	19,1
СКД-КТРА	2800	0	2,90	0	15,7
СКН-30КТР	3200	27,3	2,97	0	17,8

В качестве отвердителя эпоксидной смолы использовали диэтилентриамин (ДЭТА). Отверждение композиций вели по следующим режимам:

- холодное отверждение: (20 ± 2) °С/240 ч (режим I)

- отверждение с термообработкой: (20 ± 2) °С/24 ч + 120 °С/3 ч (режим II).

В работе использовали следующие методы исследований:

Показатель истирания (I) определяли по ГОСТ 11012-69 на машине типа APGI (Германия). Сущность метода заключается в определении уменьшения объема образца в кубических миллиметрах в результате истирания (износа) на 1 м пути истирания шлифовальной шкуркой. Нагрузка на образец составляла 1 кг, длина пути истирания образца 10 м (25 оборотов цилиндра машины).

Разрушающее напряжение (σ_p) и деформацию при разрыве (ε_p) измеряли на блочных образцах стандартных размеров ГОСТ 11262-80

(тип 2) на испытательной машине VTS (ФРГ) при скорости растяжения 10 мм/мин. Мерой работы разрушения (A_p) служила площадь под кривой напряжение – деформация.

Плотность образцов (ρ) измеряли методом градиентной колонки по ГОСТ 15139-69.

Тангенс угла механических потерь ($\text{tg } \delta$) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекта DuPont 9900.

Параметр растворимости Гильденбранда рассчитывали по формуле [13]:

$$\delta^2 = \frac{\sum \Delta E_i^*}{N_A \sum \Delta V_i},$$

где ΔE_i^* – вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в величину эффективной молярной энергии когезии; N_A – число Авогадро, ΔV_i – собственный (ван-дер-ваальсовый) объем повторяющегося звена полимера, складывающийся из инкрементов ван-дер-ваальсовых объемов отдельных атомов, входящих в это звено.

Параметр термодинамического взаимодействия χ_{23}^* между компонентами смесей опреде-

$$\chi_{23}^* = \frac{V_1}{V_2} \chi_{23} = \left[\frac{\ln V_{гсм} - \sum \varphi_1 \ln V_{gi} + \sum \varphi_i \ln V - \ln(w_2 v_2 + w_3 v_3)}{\varphi_2 \varphi_3} \right],$$

где w_2, w_3, v_2, v_3 – соответственно весовые доли и удельные объемы компонентов смеси; φ_2 и φ_3 – объемные доли компонентов смеси; V_1 и V_2 – их молекулярные объемы; $V_{гсм}$ и V_{gi} – соответ-

ственно удельные удерживающие объемы смеси и i -го компонента.

Критическое значение параметра χ_{23}^* рассчитывали по формуле [15]:

$$(\chi_{23}^*)_{кр} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{1/2} + \left(\frac{V_1}{V_3} \right)^{1/2} \right]^2,$$

где V_1, V_2, V_3 – молярные объемы соответственно сорбата и компонентов смеси.

Основная часть. Как следует из данных рис. 1 – 4, жидкие каучуки оказывают значительное влияние на износ и деформационно-прочностные свойства ЭП. При этом для тиокола показатель истирания I быстро растет с увеличением концентрации модификатора, а для карбоксилатных олигобутадиеновых олигомеров после образования небольших максимумов (при концентрации 20 и 40 масс. ч. соответственно для каучуков СКН-30 и СКД), наблюдается монотонное уменьшение параметра I , благодаря чему при больших содержаниях этих каучуков

величина износа снижается более, чем в два раза по сравнению с исходным ЭП.

При сопоставлении концентрационных зависимостей износа и деформационно-прочностных характеристик обращает на себя внимание определенная корреляция между кривыми $I - C$ (рис. 1) и $\sigma_p - C$ (рис. 2), полученными для олигобутадиеновых каучуков. В то же время для тиокола такая корреляция отсутствует.

Для параметров ϵ_p (рис. 3) и A_p (рис. 4) корреляции с концентрационной зависимостью I (рис. 1), а также обратной величиной $1/I$ (рис. 5) не наблюдается ни для одного из использованных каучуков.

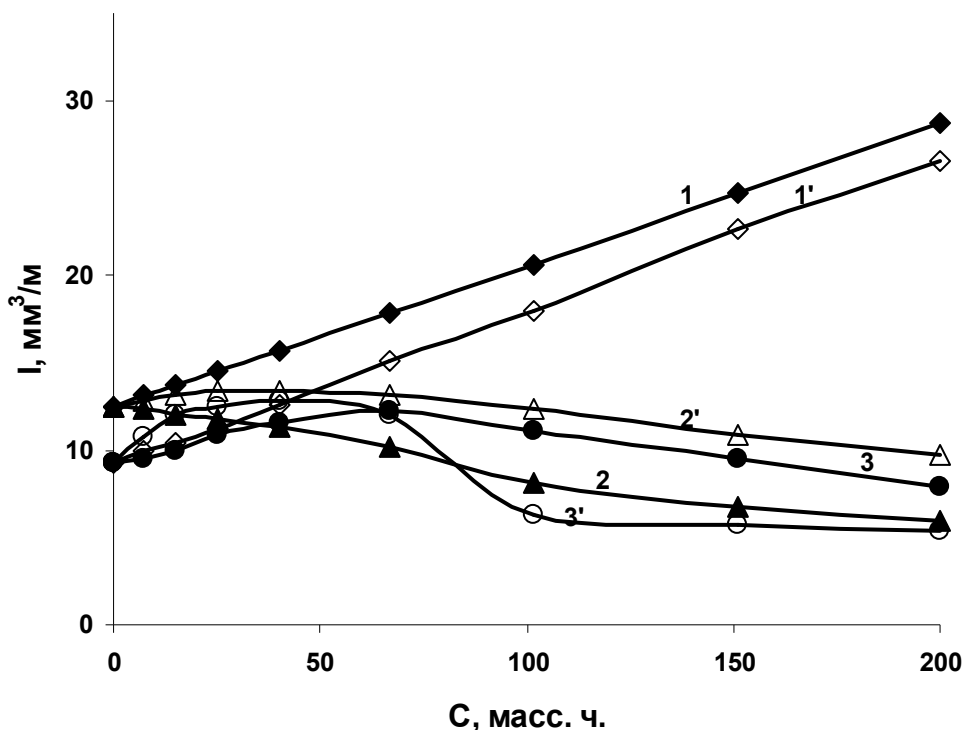


Рис. 1. Зависимость износа ЭП от содержания каучуков: тиокола (1, 1'), СКД (2, 2') и СКН-30 (3, 3'). Режим отверждения I (1, 3) и II (1', 3')

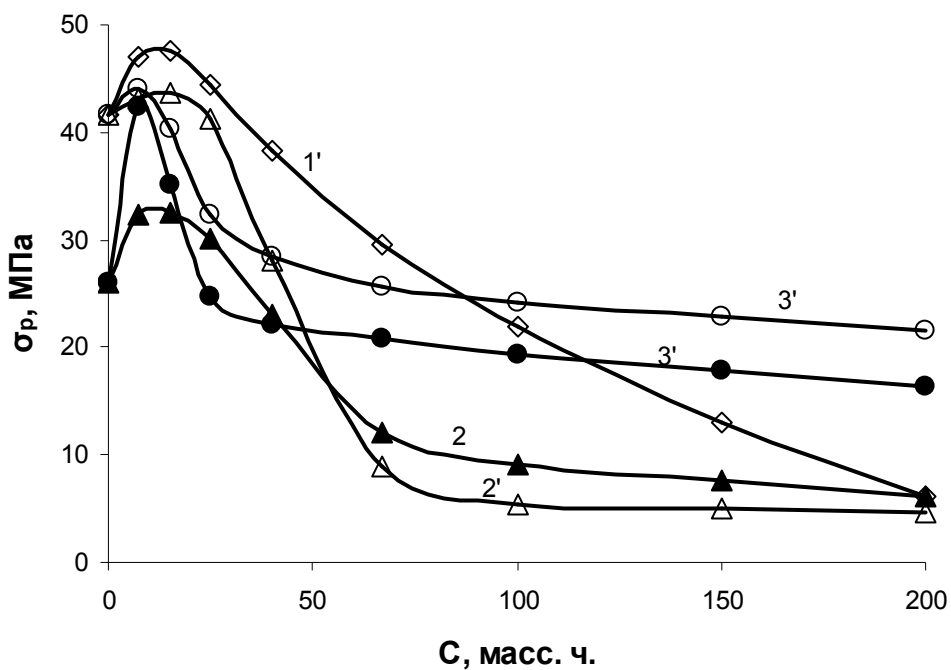


Рис. 2. Зависимость прочности при растяжении от содержания каучуков: тиокола (1'), СКД (2, 2') и СКН-30 (3, 3'). Режим отверждения I (2, 3) и II (1'-3')

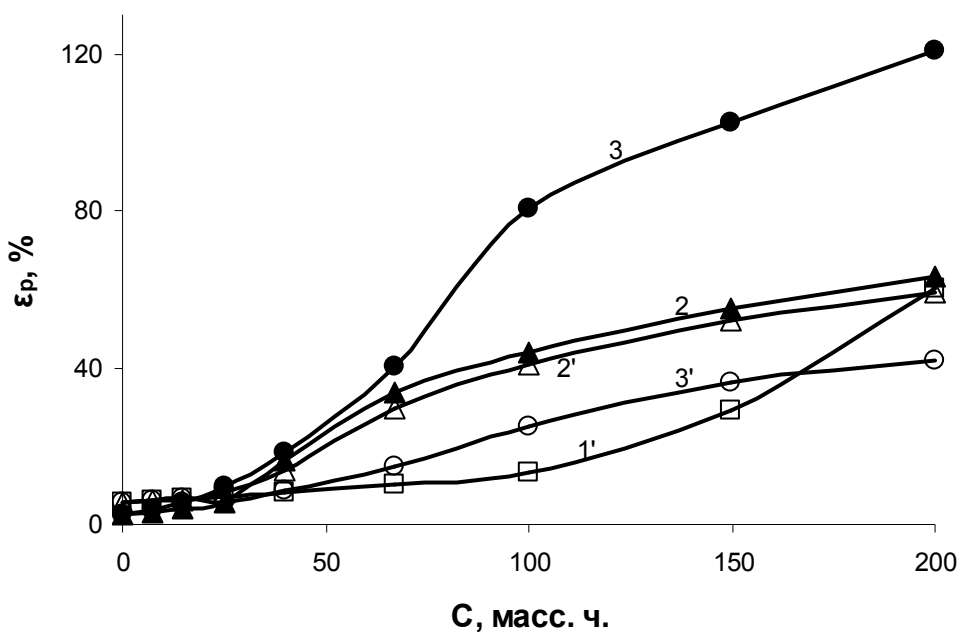


Рис. 3. Зависимость деформации при разрыве от содержания каучуков: тиокола (1'), СКД (2, 2') и СКН-30 (3, 3'). Режим отверждения I (2, 3) и II (1'-3')

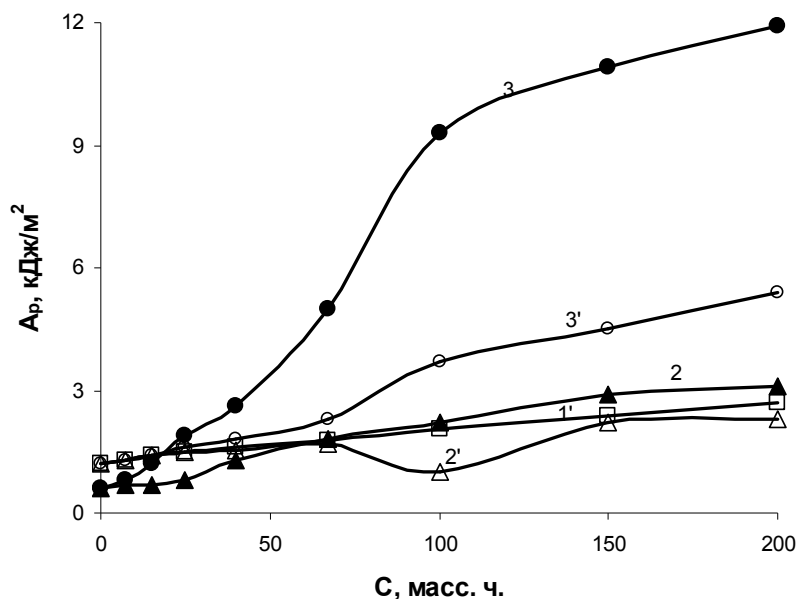


Рис. 4. Зависимость работы разрушения от содержания каучуков: тиокола(1'),СКД (2, 2') и СКН-30 (3, 3'). Режим отверждения I (2, 3) и II (1' - 3')

Отметим, что экспериментальные значения I для эпоксидно-каучуковых композиций довольно хорошо корреспондируют с расчетными величинами (рис. 6). Расчет проводился по формуле [16]

$$I \approx \mu E / \sigma_p,$$

где μ – коэффициент трения, E – модуль упругости, σ_p – прочность при растяжении. При этом для эпоксидной компоненты для расчета μ брали величину 0,33, а для каучуковой составляющей – 1,0. Для смесевых эпоксидно-каучуковых систем μ рассчитывали по правилу аддитивности.

Более хорошее соответствие расчетных и экспериментальных значений наблюдается для олигобутадиеновых каучуков. Для тиокола также проявляется соответствие, однако только в области относительно небольших (до 100 масс. ч.) содержаний модификатора. При больших концентрациях характер изменения $I_{\text{расч}}$ и $I_{\text{эксп}}$ противоположный: экспериментальная зависимость линейно растет, а для расчетных значений, наоборот, наблюдается снижение износа.

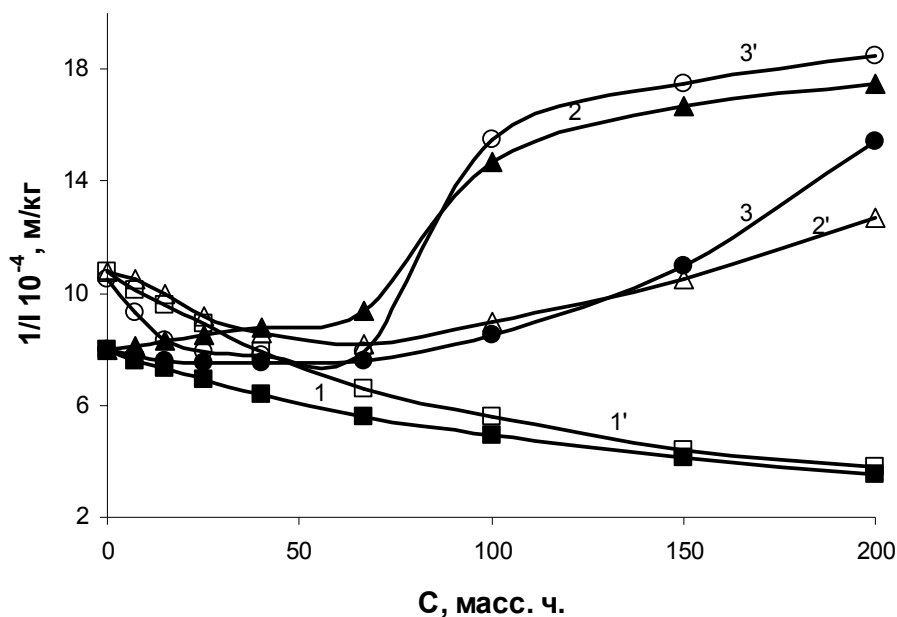


Рис. 5. Зависимость износостойкости от содержания каучуков: тиокола (1, 1'), СКД-КТРА (2, 2') и СКН-30 (3,3'). Образцы отверждены по режимам I (1-3) и II (1'-3')

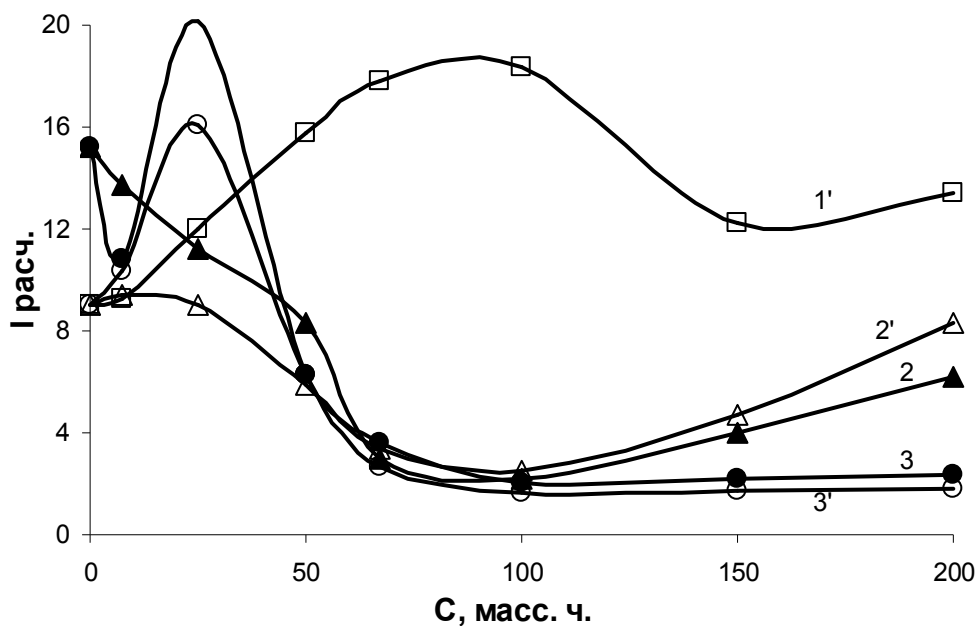


Рис. 6. Зависимость расчетных значений износостойкости от содержания каучуков: тиокола (1'), СКД (2, 2') и СКН-30 (3, 3'). Образцы отверждены по режимам I (2, 3) и II (1' - 3')

Перейдем к более детальному обсуждению результатов эксперимента. Как следует из рис. 5, износостойкость эпоксидно-каучуковых композиционных материалов зависит от концентрации каучука, его химической природы и режима отверждения. В случае тиокола износостойкость монотонно снижается с увеличением содержания модификатора, причем более быстро для термообработанных образцов. Эффект может быть связан с невысокой износостойкостью самого полисульфидного олигомера. Поэтому увеличение концентрации более склонного к износу компонента обуславливает монотонное снижение износостойкости смесевой композиции. Отметим также, что образцы на основе эпоксидно-тиоколовых смесей представляют собой (в отличие от композиций, содержащих олигобутадиеновые каучуки) прозрачные системы, что свидетельствует о хорошей совместимости компонентов. Это же подтверждают данные расчетов значений параметров растворимости тиокола и эпоксидной смолы, равные соответственно 19,1 и 20,6 (МДж/м³)^{0,5}. Близость этих величин свидетельствует об их хорошей термодинамической совместимости.

В то же время в случае олигобутадиенового каучука СКД (рис. 5, кр. 2, 2') для образцов, отвержденных без подогрева, износостойкость растет по мере увеличения содержания модификатора, причем особенно быстро в интервале $67 \leq C \leq 100$ масс. ч. Для образцов, подвергнутых термообработке, характер зависимости $1/I - C$ претерпевает существенные изменения. Вначале

при увеличении концентрации каучука стойкость к износу монотонно убывает, достигая минимума при $C \sim 67$ масс. ч., а затем, наоборот, монотонно возрастает с увеличением содержания модификатора СКД. При этом при небольших содержаниях каучука (до ~ 40 масс. ч.) износостойкость термообработанных образцов выше, чем образцов, отвержденных без подогрева, за счет существенно большей величины $1/I$ для базового образца на основе немодифицированной эпоксидной смолы.

В случае акрилонитрильного каучука СКН-30 характер изменения износостойкости отличается от того, что имеет место для олигобутадиенового каучука СКД, не содержащего акрилонитрил. Для систем, модифицированных СКН-30 и отвержденных без подогрева, наблюдается примерно такая же зависимость как для образцов, содержащих каучук СКД, но отвержденных с термообработкой; а именно, при содержании каучука до ~ 50 масс. ч. имеет место небольшое снижение износостойкости, а далее с увеличением концентрации СКН-30 происходит довольно быстрый рост величины $1/I$ почти в 2 раза. Для термообработанных образцов концентрационная зависимость износостойкости более сложная. При малых содержаниях СКН-30 (до ~ 15 масс. ч.) происходит весьма заметное снижение износостойкости, затем в диапазоне $15 \leq C \leq 67$ масс. ч. величина $1/I$ уменьшается с существенно меньшей скоростью, а потом начинает увеличиваться, причем наиболее быстрый рост износостойкости наблюдается при $67 \leq C \leq 100$

масс. ч. На наш взгляд, причиной такой значительной зависимости износостойкости от концентрации каучуков СКД и СКН-30 и режима отверждения образцов может быть разная степень фазовой совместимости и фазового разделения в процессе отверждения эпоксино-каучуковых смесей. На эти процессы должна оказывать, очевидно, определенное влияние совместимость каучуков, как с эпоксидной смолой, так и с отверждающим агентом. По-видимому, существует оптимальная степень фазового разделения, обеспечивающая наилучший комплекс показателей износостойкости и основных физико-механических свойств и находящая свое отражение как в размерах частиц каучуковой фазы, так и в степени взаимодействия между фазами, т.е. адгезии между каучуковой компонентой и эпоксидной матрицей.

Для того чтобы определить области термодинамической совместимости, методом обращенной газовой хроматографии нами были получены концентрационные зависимости параметра термодинамического взаимодействия Флори–Хаггинса в очень широком интервале соотношений компонентов бинарных смесей смола–каучук (рис. 7) и отвердитель ДЭТА–каучук (рис. 8).

Как следует из рис. 7, в очень широком интервале концентраций каучука СКД ($2 \leq C \leq 90$ масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидной смолы ЭД-20) компоненты (смола и каучук) термодинамически несовместимы, о чем свидетельствуют значения $\chi_{23}^* > (\chi_{23}^*)_{кр}$. В силу этого при отверждении смесей эпоксидной смолы с этим каучу-

ком при комнатной температуре реализуется высокая степень фазового разделения и происходит частичное расслоение композиции из-за еще большей несовместимости в отверждающей системе каучука СКД и отвердителя ДЭТА (рис. 8). Как видно из рис. 8, область термодинамической несовместимости каучука и отвердителя еще шире (от ~ 1 до 140 масс. ч. на 100 масс. ч. отвердителя). В свете этого можно объяснить довольно значительное увеличение износостойкости при концентрации каучука выше 67 масс. ч. В соответствии с данными (рис. 7) этому диапазону соответствует не максимальная несовместимость каучука со смолой, а наоборот, область близкая к значениям $(\chi_{23}^*)_{кр}$. Вместе с тем, если учесть рецептуру такой эпоксино-каучуковой композиции, то она, например, при соотношении смолы и каучука 100:100 масс. ч. содержит только 12 масс. ч. отвердителя ДЭТА. Такому соотношению отвердителя и каучука, как нетрудно видеть на рис. 8, соответствует область их максимальной несовместимости. Это позволяет предположить, что отвердитель будет вытеснять каучук из матрицы ЭП. Вследствие этого наружная поверхность эпоксидного полимера будет обогащаться каучуковой компонентой, обеспечивающей повышение износостойкости материала. Прогрев образцов, по-видимому, приводит лишь к еще большему расслоению композиции и уменьшению межфазного взаимодействия, что обуславливает снижение деформационно-прочностных характеристик и износостойкости.

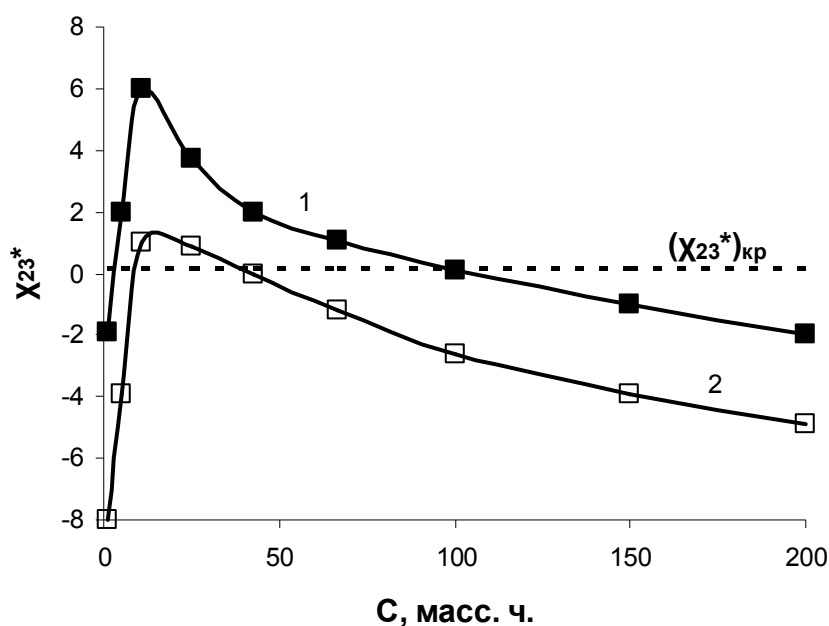


Рис. 7. Концентрационные зависимости параметра χ_{23}^* для бинарных смесей смолы ЭД-20 с каучуками СКД (1) и СКН-30 (2) при температуре 25°C. Сорбат–бензол

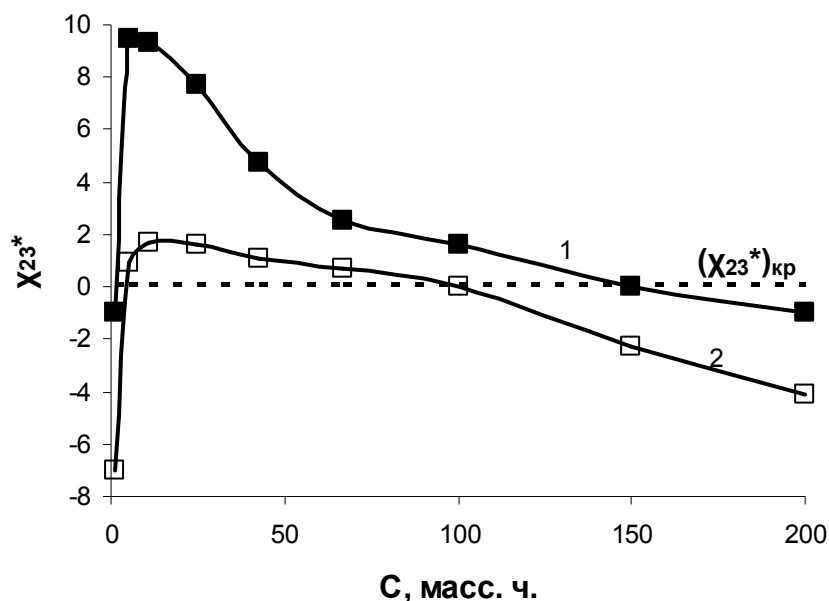


Рис. 8. Концентрационные зависимости параметра χ_{23}^* для бинарных смесей отвердителя ДЭТА с каучуками СКД (1) и СКН-30 (2) при температуре 25°C. Сорбат-бензол

Для систем, содержащих каучук СКН-30, из-за невысокой термодинамической несовместимости бинарной смеси смола–каучук (рис. 7, кр. 2) при содержании каучука $9 \leq C \leq 37$ масс. ч. и хорошей совместимости при других концентрациях фазовое разделение в случае отверждения по режиму I реализуется не в полной мере. Не столь сильно фазовому разделению способствует и отверждающий агент (рис. 8, кр. 2). Можно предположить, что в результате отверждения композиций формируются участки, где отсутствует разделение фаз, что и приводит к снижению износостойкости материала. Только при больших содержаниях каучука ($C > 67$ масс. ч.), когда роль этого компонента смеси становится определяющей, начинает сказываться положительное влияние каучука СКН-30. Прогрев композиций, способствующий улучшению разделения фаз, обеспечивает существенное повышение износостойкости. Подтверждением этого факта могут служить результаты динамической механической спектроскопии (рис. 9). Видно, что для образцов, содержащих каучук СКН-30, после отверждения по режиму I максимум $\text{tg } \delta$, соответствующий каучуковой фазе (при температуре $\sim -20^\circ\text{C}$), практически не проявляется. Наблюдается лишь наложение переходов, обусловленных расстеклованием каучуковой и эпоксидной компонент (рис. 9, кр. 2). После термообработки переходы четко разрешаются (рис. 9, кр. 2'). Максимум, соответствующий каучуковой фазе, полностью проявляется в тем-

пературном диапазоне от -30 до $+10^\circ\text{C}$, благодаря существенному увеличению температуры стеклования эпоксидной матрицы (почти на 40°C) после термообработки. Отметим, что более низкотемпературный переход с небольшим максимумом при $\sim -60^\circ\text{C}$ на кривых 2 и 2' может быть связан [17] с движением по механизму кренкшфта (коленчатого вала) в точке соединения узлов химической сетки.

В случае каучука СКД, как следует из рис. 9 (кр. 1 и 1'), положение низкотемпературного максимума при $\sim -75^\circ\text{C}$ и его интенсивность практически не изменяются после термообработки. Наблюдается лишь смещение высокотемпературного α -перехода, связанного с расстеклованием эпоксидной матрицы, в сторону более высоких температур. Это свидетельствует о довольно высокой степени разделения фаз в системе эпоксидная смола – олигобутадиеновый каучук СКД.

В заключение отметим, что общая тенденция увеличения износостойкости смесей эпоксидных полимеров с олигобутадиеновыми каучуками, помимо структурных особенностей, описанных выше, может быть также связана и с повышенной износостойкостью самих каучуков (точнее резин на их основе [18]). В свою очередь, это связано с большой гибкостью молекул бутадиена, что способствует высокой термоокислительной стойкости и малому внутреннему трению.

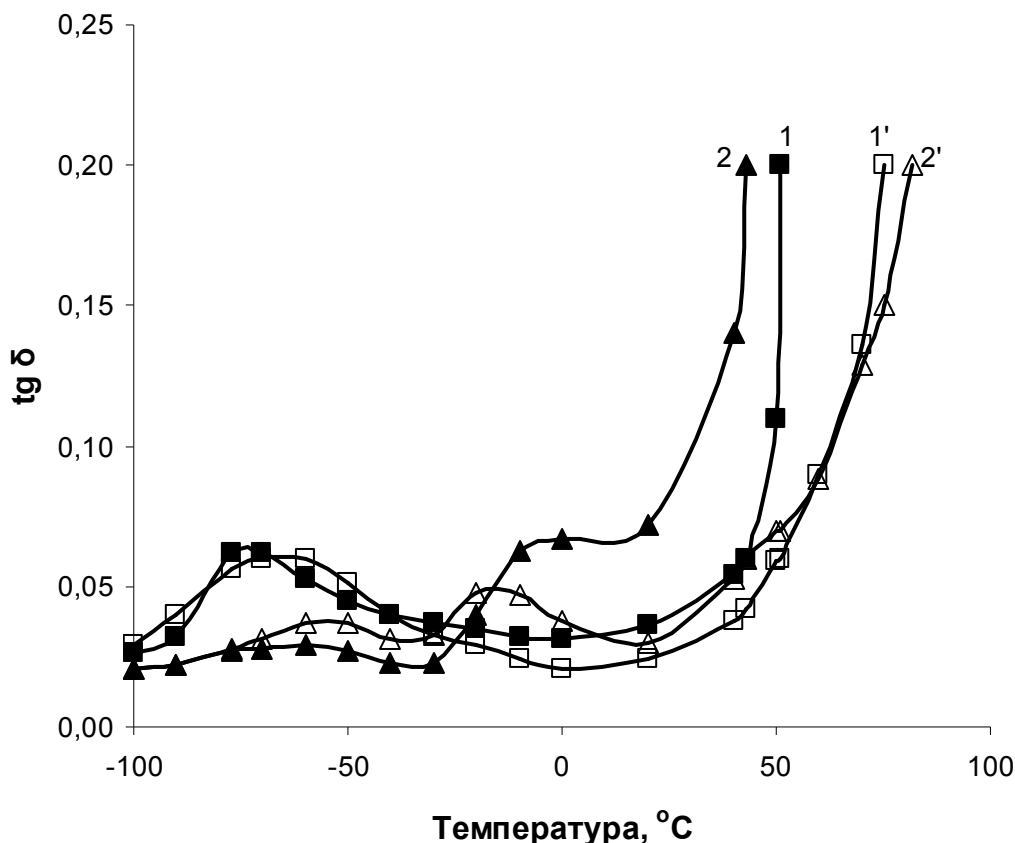


Рис. 9. Температурные зависимости тангенса угла механических потерь для смесей эпоксидной смолы ЭД-20 с каучуками СКД (1, 1') и СКН-30 (2, 2'). Содержание каучука равно 25 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидной смолы. Режим отверждения: I (1, 2) и II (1', 2')

Выводы. Таким образом, в результате проведенного исследования показано, что износостойкость эпоксидно-каучуковых систем зависит от концентрации каучука, его химической природы и режима отверждения композиции. Установлено, что при больших концентрациях карбоксильных каучуков (свыше 67 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидной смолы) наблюдается быстрый рост (в 1,5–2,0 раза) износостойкости композитов. Эффект связан как со степенью совместимости компонентов на стадии смешения эпоксидной смолы и каучука, так и степенью фазового разделения эпоксидного и каучукового компонентов в процессе отверждения композиции. Выявлена хорошая корреляция между экспериментальными и расчетными значениями износостойкости, а также между концентрационными кривыми истирания и когезионной прочности при растяжении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Эпоксидные Ю.В. Полимеры и композиции. М.: Химия, 1982. 232 с.
2. Ли Х., Невилл К. Справочное руковод-

ство по эпоксидным смолам. М.: Энергия, 1973. 416 с.

3. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 1. Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; Под ред. Б.Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. 448с.

4. Зайцев Ю.С., Кочергин Ю.С., Пактер М.К., Кучер Р.В. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции. Киев: Наук. думка, 1990. 200 с.

5. Бабаевский П.Г., Кулик С.Г. Трещиностойкость отвержденных эпоксидных композиций. М.: Химия, 1991. 336с.

6. Кочергин Ю.С., Кулик Т.А., Григоренко Т.И. Клеевые композиции на основе модифицированных эпоксидных смол // Пластические массы. 2005. № 10. С. 9–16.

7. Kochergin Yu.S., Kulik T.A., Grigorenko T.I. Special-Purpose Epoxy Adhesives // Polymer Science. Ser C. 2007. Vol. 49. № 1. P.17–21.

8. Крыжановский В.К. Износостойкие реактопласты. Л.: Химия, 1984. 130 с.

9. Крыжановский В.К., Конова О.В. Влияние топологической структуры и физического

состояния индивидуальных эпоксиполимеров на их трибологические особенности // Трение и износ. 1993. Т. 14, № 2. С. 322–327.

10. Кулик Т.А., Кочергин Ю.С., Зайцев Ю.С. [и др.] Влияние жидких каучуков на физико-механические свойства эпоксидных полимеров // Пластические массы. 1985. № 4. С. 25–27.

11. Григоренко М.А., Григоренко Т.И., Лойко Д.П. Свойства эпоксидно-тиоколовых смесей, подвергнутых предварительной реакции тиоэтерификации // Вопросы химии и химической технологии. 2011. № 6. С. 83 – 86.

12. Grigorenko M.A. The Influence of Preliminary Thioetherification Reaction on Properties of Epoxy Adhesive Modified by Liquid Thiokol // Polymer Science. Ser C. 2012. Vol. 5. № 2. P. 67–72.

13. Аскадский А.А., Матвеев Ю.И. Химическое строение и физические свойства полимеров. М.: Химия, 1983. 248 с.

14. Нестеров А.Е. Обращенная газовая хроматография в термодинамике полимеров. Киев: Наук. думка, 1976. 127 с.

15. Flory P.J. Principles of Polymer Chemistry. N.J. Cornell Univ. Press., Ithaca, 1953. 512 p.

16. Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров. Пер. с англ. / Под ред. А.Я. Малкина. М.: Химия, 1976. 416 с.

17. Chang T.D., Carr S.H., Brittain J.O. Studies of epoxy resins systems: Part A: A study of the origins of the secondary relaxations of epoxy resins by thermally, stimulated depolarization // Polym. Eng. Sci. 1982. Vol. 22. № 18. P.1205–1212.

18. Куперман Ф.Е. Фрикционный износ резин. М.: Химия, 1964. 107 с.

Kochergin Yu.S., Zolotarev V.V., Grigorenko T.I.

DURABILITY OF COMPOSITE MATERIALS ON THE BASIS OF EPOXY-RUBBER POLYMERS

In a wide interval of concentration of modifying additives of carboxylic butadiene rubbers and thiokol investigated the wear resistance of epoxy composites. It is shown that the wear resistance of epoxy-rubber composites depends on the concentration of the rubber, its chemical nature and mode of curing of the composition. The observed effect is associated with the degree of thermodynamic compatibility of components at the stage of combining the epoxy resin and rubber, as well as processes of phase separation of epoxy and rubber components during curing of the composition.

Key words: epoxy resin, oligobutadienes rubber, thiokol, curing modes, deformation-strength properties, wear resistance, phase separation.

Кочергин Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор

Адрес: Украина, 86114, г. Макеевка, Донецкой обл., д.80, кв.189

E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua

Золотарева Виктория Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского.

Адрес: Украина, 83052, Донецк, б. Шевченко, д.125, кв. 34.

E-mail: viktorias802@gmail.com

Григоренко Татьяна Ильинична, кандидат технических наук.

Адрес: Украина, 83059, г. Донецк, пр. Ильича, 97

E-mail: grigorencot2013@mail.ru