

Исследование механических свойств нанокомпозитов на основе полиэпоксициануратов и монодисперсных наночастиц углерода

К.Б. ГАЛИЦЕЙСКИЙ, М.Д. ПЕТУНОВА**, Е.С. АФАНАСЬЕВ**,
М.В. СТАРОЖИЦКИЙ**, О.В. КОВРИГА**, А.А. АСКАДСКИЙ**, ****

* Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

** Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова РАН, г. Москва

*** Московский Государственный строительный университет, г. Москва

andrey@ineos.ac.ru

Получены нанокомпозиты на основе полиэпоксициануратных сетчатых систем различного химического состава с целью исследования конкретного влияния технического наноуглерода на каждую отдельно взятую полимерную сетку. Монодисперсные частицы углерода получены в процессе хлорирования метана, проводимого в проточном реакторе в неравновесном режиме при дефиците хлора. Проанализированы зависимости предела вынужденной эластичности, релаксация напряжения и пр. от степени наполнения. Исследована возможность межфазного взаимодействия между конкретной полиэпоксициануратной сеткой и "нанонаполнителем". Показано, что достаточно малая концентрация (1 мас. %) монодисперсных частиц углерода размером 20–25 нм приводит к увеличению модуля упругости и предела вынужденной эластичности на 25–30%; аналогично повышаются также и релаксационные характеристики. Установлено, что изменение ряда таких свойств в сторону их возрастания связано с повышенным влиянием межфазных взаимодействий между полимером и наполнителем за счет большого размера площади поверхности слоя.

Ключевые слова: полиэпоксицианурат, наночастицы углерода, модуль упругости, предел вынужденной эластичности, релаксация напряжения

To discover the direct influence of technical nanocarbon on certain polymer networks, nanocomposites based on polyepoxyisocyanurate network systems of different structure were obtained. Mono-disperse carbon particles were obtained from chlorination of methane, realized in a flow reactor in a non-equilibrium mode with a deficit of chlorine. Dependencies of yield strength, stress relaxation etc. on wt. % of carbon nanoparticles were analyzed. It was shown that even small concentration of nanoparticles (1 wt. %), size of particles 20–25 nm, increased elasticity modulus up to 25–30%; at the same time relaxation properties were also improved. Such an improvement is concerned with a higher influence of interfacial interaction between polymer and nano-filler because of a large area of the surface layer.

Keywords: polyepoxyisocyanurate, carbon nanoparticles, modulus of elasticity, yield strength, stress relaxation

В настоящее время существенное внимание уделяется получению нанокомпозитов, в которых нанонаполнителем являются углеродные структуры. Обычные углеродные наполнители уже на протяжении многих лет используются при создании композиционных материалов на основе полимеров [1]. Например, применение сажи в качестве наполнителя для трубного полиэтилена позволяет снизить стоимость изделий и повысить их стойкость к ультрафиолетовому излучению, однако, при этом заметно страдают прочностные свойства композита, что недопустимо для материалов, работающих под нагрузкой. Поэтому в качестве углеродных наполнителей активно используются наноразмерные частицы, к числу которых относятся одностенные и многостенные углеродные нанотрубки и углеродные нановолокна [2, 3]. Большое значение имеет размер и форма частиц наполнителя. Увеличение дисперсности наполнителя приводит к росту его удельной поверхности, что в свою очередь увеличивает величину работы адгезии на границе раздела фаз. Поэтому считается, что с уменьшением размера частиц дисперсной фазы, прочность наполненных полимеров возрастает [4, 5].

В данной работе исследовано влияния наночастиц углерода на предельные механические (модуль упругости и предел вынужденной эластичности) и релаксационные характеристики нанокомпозитов на основе полиэпоксициануратов и монодисперсного наноуглерода. Для изготовления матричного полимера использовали смесь исходных веществ, состав которойложен в работах [6, 7]: гидроксилсодергаций компонент – полиокситетраметиленгликоль (полифурит ПФ) с M 1000, 2,4-толуилидендиизоцианат (2,4-ТДИ), эпоксидная смола (ЭД-20); в качестве катализатора применяли диметилбензиламин (ДМБА). Наполняли данные смеси различного состава, применяя два различных вида дисперсного углерода – А-35 и А-55 (описание этих форм углерода см. ниже). Схема реакции синтеза показана на схеме 1.

Синтез осуществляли путем взаимодействия 2,4-ТДИ и полифурита в разных мольных соотношениях (таблица 1) при температуре 40°C. Смесь (преполимер) вакуумировали в течение 40 мин до исчезновения пузырей при температуре (40±5)°C. Далее реакционную массу выдерживали при температуре 40°C в течение 20 мин. Затем дополнительно в реакционную смесь вводили рассчитанное количество эпоксидной смолы, предварительно выдержанной под вакуумом при остаточном давлении 0,2 мм рт. ст. и температуре 40°C, и перемешивали до получения однородной массы в течение 40 мин при той же температуре (мольные соотношения ПФ:ЭД-20 показаны в таблице 1). Затем в реакционную смесь вводили наполнитель – наноуглерод А-35 или А-55 в количестве 1 % мас. Далее вводили 2,4-ТДИ. В полученную реакционную смесь вводили катализатор в количестве 0,35 % мас. По окончании введения компонентов реакционную массу заливали в предварительно нагретые до 40°C емкости. Отверждение полученных смесей осуществлялось при ступенчатом подъеме температуры от 40 до 80°C: при 40°C – 60 мин, при 60°C – 60 мин, при 80°C – 60 мин.

Как было отмечено выше, твердым наполнителем является высокочистая ультрадисперсная углеродная структура. Интерес к ее получению обусловлен природой и свойствами данной структуры, а именно, ее ультрадисперсностью (наноразмерностью) и монодисперсностью. Ультрадисперсность создает достаточно большую площадь поверхности границы раздела фаз, и, таким образом, увеличивает влияние межфазных явлений за счет поверхностного слоя, свойства которого отличаются от свойств объемных фаз [8]. Монодисперсность обеспечивает равномерное проявление такого рода эффектов в объеме композиции.

Синтез высокочистой ультрадисперсной углеродной структуры осуществляется в процессе хлорирования метана [9], проводимого в проточном реакторе в неравновесном режиме

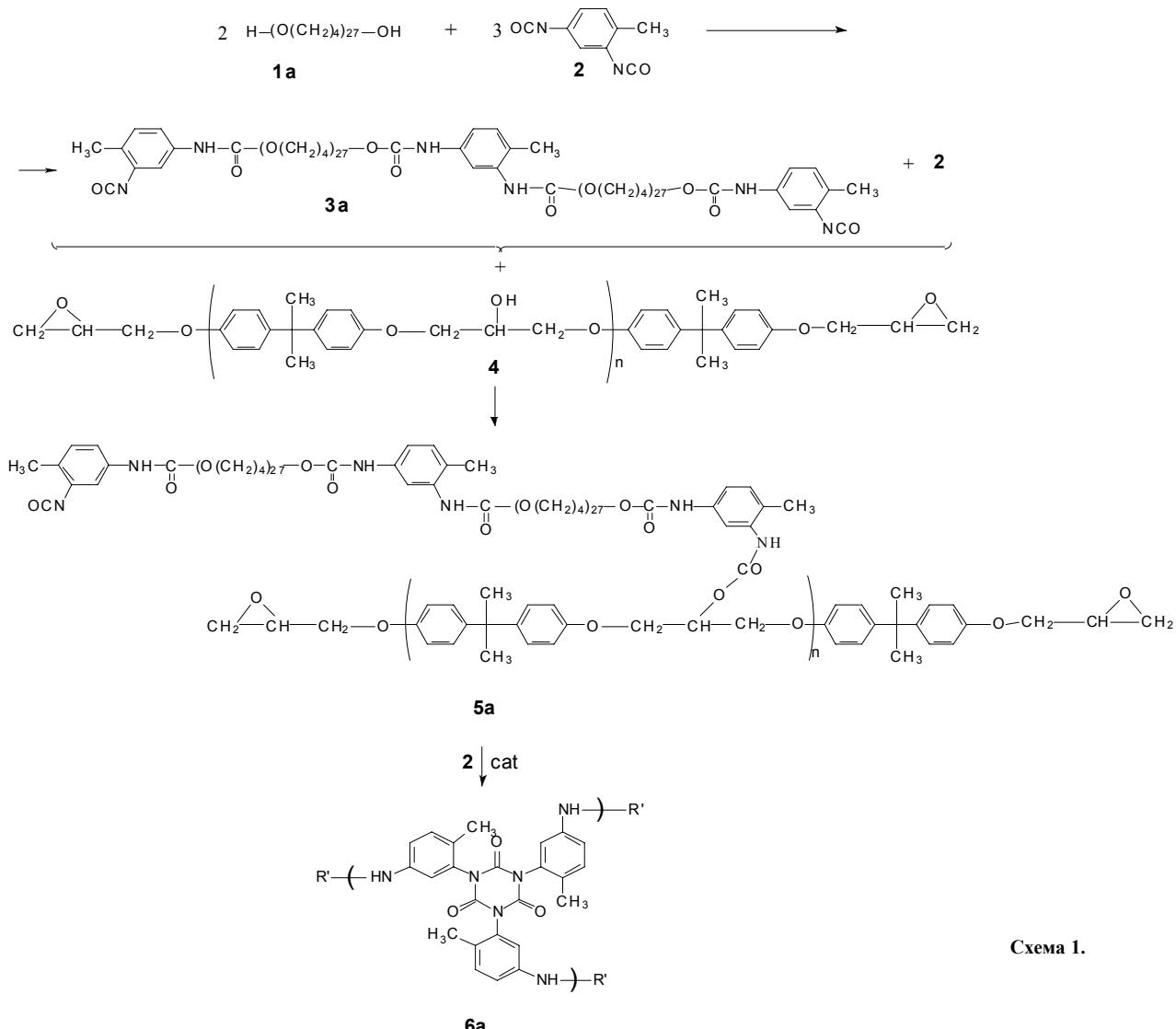


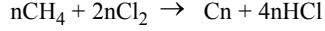
Схема 1.

при дефиците хлора. Эти обстоятельства, как будет показано далее, оказывают существенное влияние на результат реакции галогенирования. Реализация на практике такого рода процесса из-за возможной его неустойчивости представляет достаточно сложную инженерную и технологическую задачу. На примере синтеза высокочистой ультрадисперсной углеродной структуры показана возможность ее технической реализации.

Хорошо известно, что при хлорировании метана, как фотокаталитическим, так и термическим способами, например, по Хессу-Мак-Би [10], продуктом реакции является ряд компонентов от CH_3Cl до CCl_4 , процентное содержание которых определяется температурой процесса и соотношением концентраций CH_4 и Cl_2 . Общим для этих процессов является необходимость поддержания постоянных термодинамических параметров во всем объеме реакционной зоны (минимизация градиентов в системе). Способ хлорирования метана, предложенный в работе [9], основан на принципиально ином подходе, основы которого изложены в работе [11]. Процесс проводится в проточном реакторе при заданном соотношении концентраций в диффузионном пламени с постоянным отводом продукта реакции и тепла из реактора (рис. 1).

Таким образом, система постоянно подвергена потокам вещества: подвод реагентов CH_4 и Cl_2 и отвод продукта C_n и HCl ; потокам энергии: тепловыделение экзотермической ре-

акции $n\text{CH}_4 + 2n\text{Cl}_2$ и отвод тепла из реакционной зоны посредством охлаждения стенок реактора водой. В результате проведенного синтеза из начальной гомофазной среды смеси газообразных CH_4 и Cl_2 получен двухфазный продукт: конденсированные твердое тело C_n и жидкая фаза раствора HCl в H_2O :



Полученная углеродная структура обладает рядом уникальных свойств:

- 1) наноразмерность и однородность первичных углеродных глобул, имеющих размерность 20–25 нм;
- 2) высокая чистота продукта как углеродного материала (> 99%) практически при полном отсутствии зольности;
- 3) наличие пористости, и возможность регулировать размеры и количество пор, сочетание свойств микро- и мезопористых структур (типичная изотерма адсорбции N_2 , рис. 2);
- 4) высокие показатели сорбционной емкости до 1500 $\text{cm}^3/\text{г}$ по азоту при 77 К и удельной поверхности свыше 3000 $\text{m}^2/\text{г}$ по азоту при 77 К (метод БЭТ).
- 5) возможность химической модификации поверхностных свойств за счет управляемого введения разнообразных функциональных групп, в том числе получение гидрофильных и гидрофобных продуктов.

Эксперимент по получению нанокомпозитов и измерению механических свойств проводили при использовании двух типов нанонаполнителей:

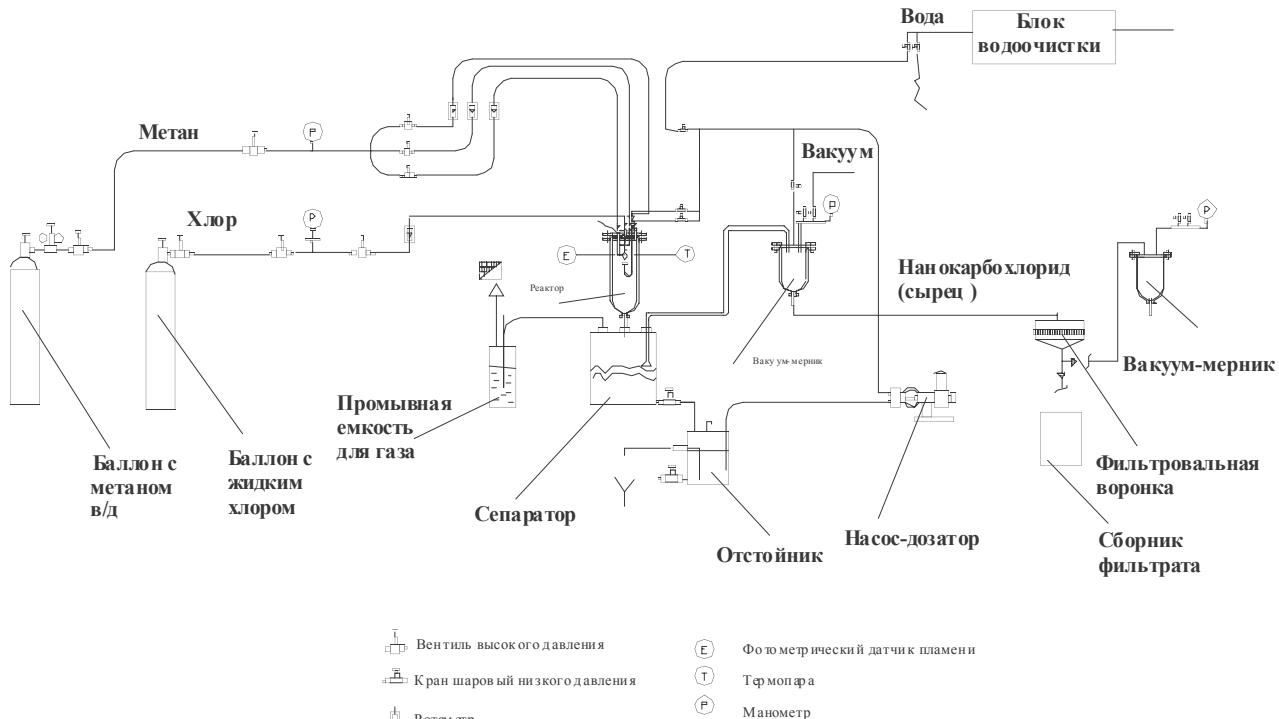


Рис. 1. Принципиальная схема проточного реактора для синтеза высокочистой ультрадисперсной углеродной структуры.

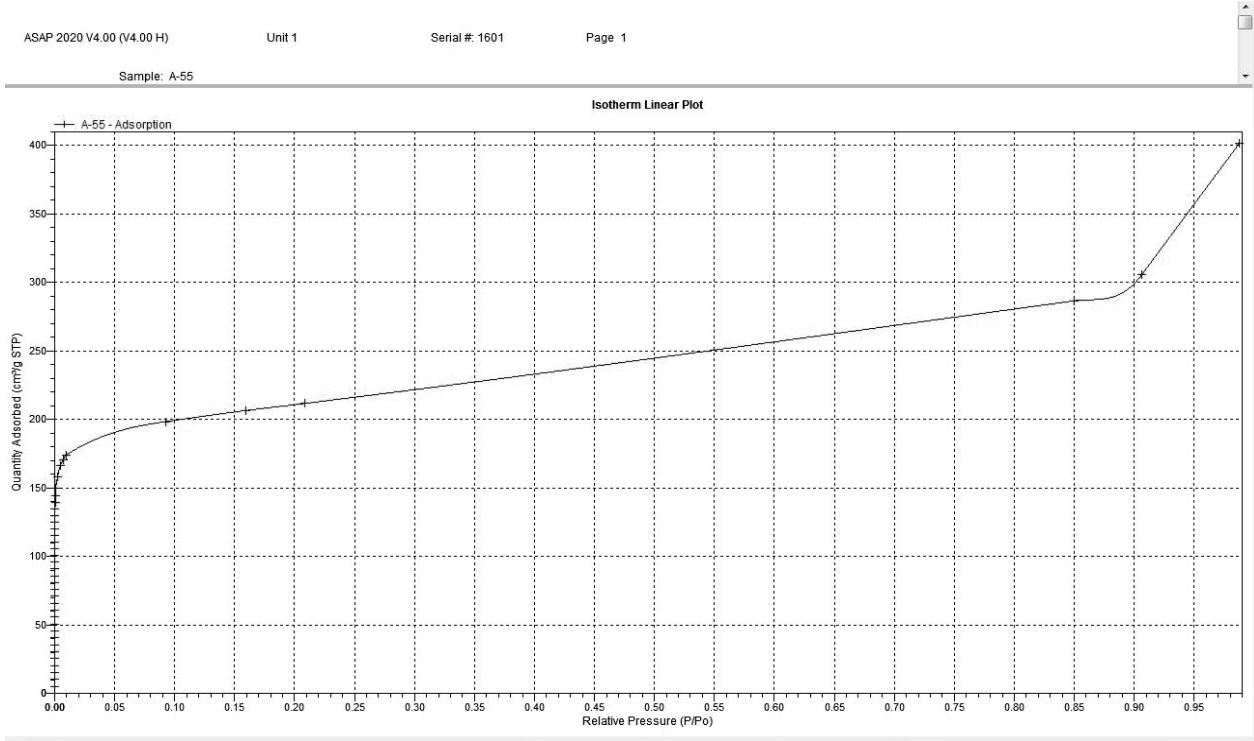


Рис. 2. Изотерма адсорбции N2 на А-55. Температура 77 К (Аналитор удельной поверхности и пористости "ASAP 2020C-MP").

1. А-35. Активации в среде CO₂ (гидрофобная форма). Удельная поверхность 800 м²/г, сорбционная емкость 400 см³/г по азоту при 77К.
2. А-55. Активация в среде H₂O (гидрофильная форма). Удельная поверхность 800 м²/г, сорбционная емкость 400 см³/г по азоту при 77К.

Были приготовлены две серии образцов. В каждой серии варьировали мольное соотношение 2,4-ТДИ, увеличивая его содержание в матричном полимере и, тем самым, увеличивая частоту сетки химических связей. В результате при малом содержании 2,4-ТДИ получены образцы, по модулю упру-

гости соответствующие резинам, а при наибольшем содержании 2,4-ТДИ – соответствующие твердым пластикам. Серии образцов содержали нанонаполнители А-35 или А-55.

Из полученных отверженных заготовок вырезали образцы размером 4x4x6 мм, которые испытывались на приборе для микромеханических испытаний, который был автоматизирован. Первоначально с помощью программного обеспечения прибора создается файл, в который заносятся данные о размерах образца, площади его поперечного сечения, температуре и скорости деформирования при проведении испытания. Все последующие результаты измерения также записываются в созданный файл.

Табл. 1. Состав образцов, пределы вынужденной эластичности и модули упругости.

Образец	Наполнитель	Мольные доли		Предел вынужденной эластичности, МПа	Модуль упругости, МПа
		ПФ	2,4-ТДИ		
I	–	1	2,5689	0,2033	4
II			3,4108	0,2833	6.8
III			4,4680	0,3833	16.0
IV			5,8075	0,5030	23.7
V			7,7210	0,5833	37
Ic	углерод A-35	1	2,5689	0,2033	—
IIc			3,4108	0,2833	6.9
IIIc			4,4680	0,3833	14.0
IVc			5,8075	0,5030	28
Vc			7,7210	0,5833	46.2
Ic1	углерод A-55	1	2,5689	0,2033	—
IIc1			3,4108	0,2833	8.4
IIIc1			4,4680	0,3833	17.0
IVc1			5,8075	0,5030	29
Vc1			7,7210	0,5833	42

После подготовительной стадии образец помещается на нижний цилиндр релаксометра, а верхний цилиндр релаксометра приводится в движение с помощью электродвигателя с заданной скоростью, которая в данном случае составляла 0,187 мм/мин. Кривая сжатия регистрируется автоматически и записывается в ранее созданный файл. По полученным кривым сжатия определяется модуль упругости E и предел вынужденной эластичности σ_y .

Составы образцов приведены в таблице 1, где также имеются величины модуля упругости и предела вынужденной эластичности. Зависимости модуля упругости от мольного соотношения 2,4-ТДИ показаны на рисунке 3, а предела вынужденной эластичности – на рисунке 4. Видно, что даже небольшое содержаниеnanoуглерода (1 % мас.) приводит к росту модуля упругости, причем, чем выше содержание 2,4-ТДИ, тем в большей степени проявляется эффект нанонаполнения. Особенно это характерно при введении nanoуглерода А-35 (модуль упругости при мольном соотношении 2,4-ТДИ 7.72 увеличивается на 24.5%). То же самое относится и к пределу вынужденной эластичности, который в тех же условиях возрастает на 29%.

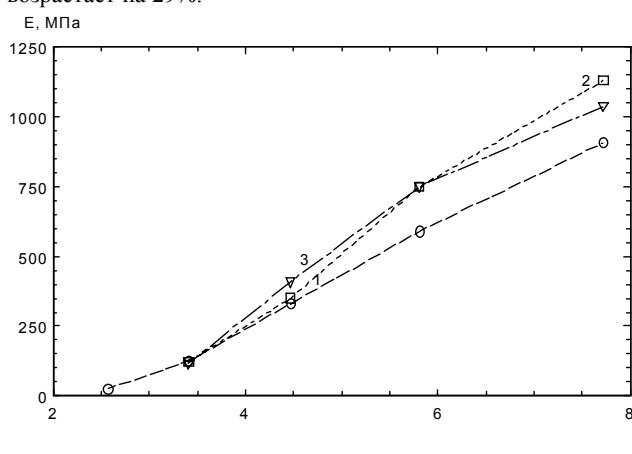


Рис. 3. Зависимость модуля упругости E от мольного соотношения 2,4-ТДИ. 1 – исходный образец, не содержащий углерода; 2 – образцы, содержащие углерод А-35; 3 – образцы, содержащие углерод А-55.

Следующим шагом в работе было измерение кривых релаксации напряжения, поскольку для полимерных материалов результаты таких измерений позволяют наиболее объек-

тивно оценить механическую работоспособность материала. Релаксацию напряжения измеряли при комнатной температуре и деформации, равной 3%. Продолжительность испытания на релаксацию напряжения составляла 3 часа, экспериментальные данные регистрировались автоматически с помощью программного обеспечения прибора.

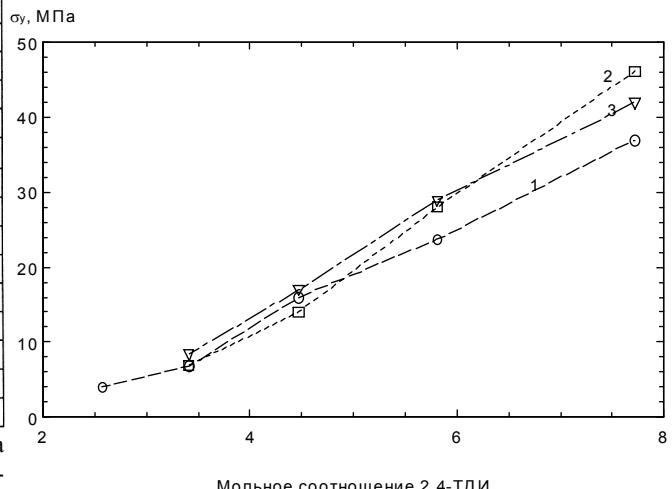


Рис. 4. Зависимость предела вынужденной эластичности σ_y от мольного соотношения 2,4-ТДИ. 1 – исходный образец, не содержащий углерода; 2 – образцы, содержащие углерод А-35; 3 – образцы, содержащие углерод А-55.

Для аппроксимации кривых релаксации напряжения использовали уравнение Больцмана:

$$\sigma = \sigma_0 \left[1 - \int_0^t T(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где σ_0 – начальное напряжение, возникающее после задания постоянной деформации ε_0 ; $T(\tau)$ – ядро релаксации; t – текущее время, t – конечное время.

Для описания экспериментальных данных использовали два ядра релаксации, детально описанных в работах [12–15]. Согласно этим работам процесс релаксации напряжения происходит в результате взаимодействия и диффузии кинетических единиц – релаксаторов. Релаксаторами являются различные группы атомов, входящие в повторяющиеся звенья полимера, кинетические сегменты, микропоры.

Согласно работам [12–15] ядро релаксации в общем виде выглядит так:

$$T(\tau) = -\frac{S_0}{k_B m} \left[\frac{1}{\alpha \ln \alpha + (1-\alpha) \ln(1-\alpha)} - \frac{1}{\ln 0.5} \right], \quad (2)$$

где S_0 – начальная энтропия системы (образца), k_B – константа Больцмана; m – общее количество кинетических единиц, α – доля релаксаторов от общего объема кинетических единиц.

Зависимость α от t при межмолекулярном взаимодействии между релаксаторами определяется соотношением [12–15].

$$\alpha = \frac{C}{C_0} = \frac{1}{(1 + k^* \tau / \beta)^\beta}, \quad (3)$$

где k – константа скорости взаимодействия релаксаторов; C – текущая концентрация релаксаторов, $k^* = k C_0^{n-1}$; $\beta = 1/(1-n)$; n – порядок реакции взаимодействия; C_0 – начальная концентрация релаксаторов.

Ядро $T_1(\tau)$ получается подстановкой (3) в (2). Если релаксационный процесс лимитируется скоростью взаимодействия релаксаторов, ядро $T_1(\tau)$ приводит к наибольшему коэффициенту корреляции.

Если процесс лимитируется скоростью диффузии, действует ядро $T_2(\tau)$ [12–15]:

$$T_2(\tau) = -\frac{S_0}{k_B m_2} \left[\frac{1}{\alpha \tau^\gamma \ln \alpha \tau^\gamma + (1-\alpha \tau^\gamma) \ln(1-\alpha \tau^\gamma)} - \frac{1}{\ln 0.5} \right],$$

где $\gamma = a/2$, a – параметр материала.

Ядра релаксации (2) и (4) позволяют определять следующие параметры материала: величину $A = m^*/S_0$, пропорциональную количеству неоднородности в материале; k^* , n , σ_0 , σ_∞ , где: σ_0 – начальное напряжение, появляющееся после "мгновенного" задания деформации; σ_∞ – равновесное напряжение при $t \rightarrow \infty$.

Аппроксимацию кривых релаксации напряжения проводили с помощью ЭВМ-программы. В программное обеспечение компьютера предварительно были занесены табулированные значения переменных частей ядер релаксации $T_1(\tau)$ и $T_2(\tau)$. Табулированные значения имеются в монографиях [12, 15]; они получены при разных значениях параметров k , β , γ и a . Производился автоматический отбор тех значений параметров, при которых сумма квадратов отклонений экспериментальных значений релаксирующего напряжения от расчетных была минимальной, а коэффициент корреляции r – максимальным [12–15].

На рисунках (5)–(6) в качестве примера показаны результаты аппроксимации кривых релаксации напряжения для образцов V и V_c .

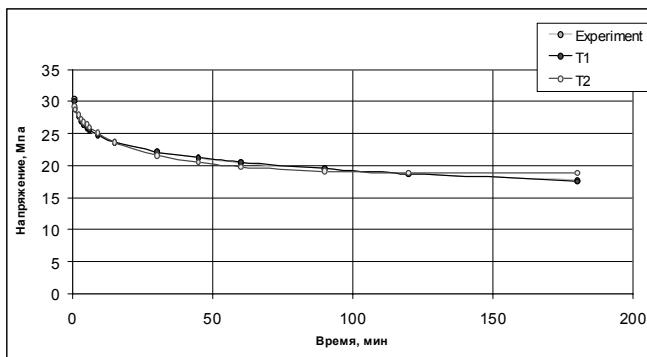


Рис. 5. Кривые релаксации образца V .

Видно, что аппроксимация проводится с хорошей точностью, что также подтверждается величинами коэффициентов корреляции в таблице 2. При этом при использовании ядра релаксации $T_1(\tau)$ коэффициенты корреляции всегда выше, чем при использовании ядра $T_2(\tau)$. Это говорит о том, что лимитирующей стадией процесса релаксации является скорость взаимодействия релаксаторов, а не скорость диффузии продуктов взаимодействия.

Константа скорости взаимодействия релаксаторов снижается при увеличении содержания 2,4-ТДИ в композиции, что вполне естественно, так как увеличивается частота сетки и возрастает вязкость реакционной среды. Порядок реакции при резком увеличении концентрации 2,4-ТДИ также снижается, так как в активном соударении участвует меньшее количество релаксаторов.

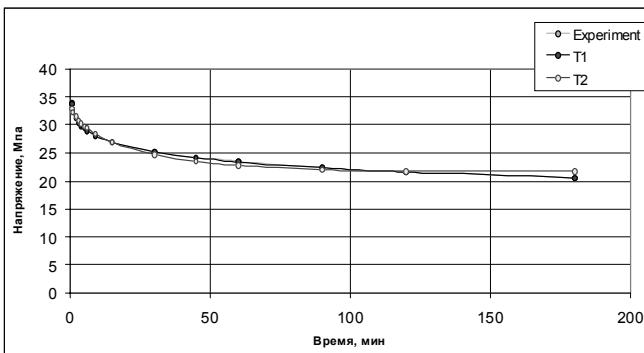


Рис. 6. Кривые релаксации образца V_c .

Таким образом, при введении наночастиц монодисперсного углерода, полученного по оригинальной технологии [8], релаксационные характеристики, как и предел вынужденной эластичности и модуль упругости, возрастают. Это особенно проявляется при большом содержании 2,4-ТДИ. Для повышения релаксационных характеристик на 25–30%, определяющих длительную механическую работоспособность материалов на основе полизэпоксизоцанурата, достаточно введение 1% мас. монодисперсного углерода, причем наилучший эффект достигается при введении гидрофобных наночастиц.

Литература

- Кербер М.Л., Буканов А.М., Вольфсон С.И., Горбунова И.Ю., Кандырин Л.Б., Сирота А.Г., Шерышев М.А. Физические и химические процессы при переработке полимеров. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 320 с.
- Ксантос М. Функциональные наполнители для пластмасс. / Пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 462 с.
- Раков Э.Г. Пиролитический синтез углеродных нанотрубок и нановолокон//Рос. Хим. Ж., 2004. Т. XLVIII. №5. С. 12-20.
- Кербер М.Л., Головкин Г.С., Горбаткина Ю.А Полимерные композиционные материалы (Под ред. Берлина А.А.). СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
- Щукин Е.А., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М.: Выш. шк., 2004. 445 с.
- Петунова М.Д., Аскадский А.А., Голенева Л.М., Казанцева В.В., Коврига О.В.. Одностадийный синтез и механические свойства сетчатых полиуретаноцануратных полимерных материалов. //Пластические массы. 2010. №1. С.30-38.

Табл. 2. Параметры ядер релаксации $T_1(\tau)$ и $T_2(\tau)$ и экспериментальные значения начальных и конечных релаксирующих напряжений для нанокомпозита.

Образец	Ядро $T_1(\tau)$						Экспериментальные значения	
	k , мин ⁻¹	r	A , Дж·кг·град/м ³	n	σ_0 , МПа	σ_∞ , МПа	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{180} , МПа
II	0.01	0.998	$1.47 \cdot 10^{25}$	6.0	5.21	2.18	3.69	2.26
II _c	0.01	0.998	$1.32 \cdot 10^{25}$	6.0	6.02	2.27	4.18	2.38
II _{c1}	0.01	0.994	$1.68 \cdot 10^{25}$	6.0	4.58	1.91	3.27	1.98
V	0.00001	0.999	$6.10 \cdot 10^{27}$	6.0	42.85	2.37	30.39	17.73
V _c	0.001	0.999	$1.35 \cdot 10^{25}$	2.25	48.12	18.37	33.96	20.50
Образец	Ядро $T_2(\tau)$						Экспериментальные значения	
	γ	r	A , Дж·кг·град/м ³	a	σ_0 , МПа	σ_∞ , МПа	$\sigma_{0,5}$, МПа	σ_{180} , МПа
II	0.5	0.978	$4.58 \cdot 10^{24}$	0.0403	3.68	2.35	3.69	2.26
II _c	0.5	0.981	$3.93 \cdot 10^{24}$	0.0403	4.12	2.47	4.18	2.38
II _{c1}	0.5	0.966	$3.31 \cdot 10^{24}$	0.05	3.32	2.12	3.27	1.98
V	0.5	0.977	$5.40 \cdot 10^{23}$	0.0403	30.54	18.85	30.39	17.73
V _c	0.5	0.980	$4.89 \cdot 10^{23}$	0.0403	34.28	21.68	33.96	20.50

7. Афанасьев Е.С., Петунова М.Д., Голенева Л.М., Аскадский А.А., Климова Т.П. Влияние условий образования сетчатого полиуретана на степень сшивания и механические свойства. //Высокомолек. соед. 2010. А 52. № 12. С. 2131-2139.
8. Рusanov A. I. Удивительный мир наноструктур // Журнал общей химии, 2002. Т. 72, № 4. С. 532-549 .
9. Патент РФ 2287543. Способ получения ультрадисперсного углерода / Алексковский В.Б., Галицейский К.Б.; Заявл. 23.05.2005. Опубл. 20.11.2006. Бюл. № 32.
10. Азингер Ф. Химия и технология парафиновых углеводородов: пер. с нем. / под ред. В. И. Исагулянца. М.: Гостоптехиздат, 1959. 623 с.
11. Алексковский К.Б. Информация как фактор самоорганизации и организации вещества// Журнал общей химии, 2002. Т. 72, № 4. С. 611-616.
12. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров, том 1, Атомный и молекулярный уровни. М.: Научный мир, 1999. 543 с.
13. Аскадский А.А., Попова М.Н., Кондращенко В.И. Физико-химия полимерных материалов и методы их исследования: Учебное издание/ Под общ. ред. А.А. Аскадского. М.: Издательство АСВ, 2015. 408 с.
14. Аскадский А.А., Хохлов А.Р. Введение в физикохимию полимеров. М.: Научный мир, 2009. 380 с.
15. Askadskii A.A. Computational Materials Science of Polymers. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2003, 695 pp.

УДК 541.64; 536.4; 547.539; 543.421/424

Исследование синтеза и свойств сополисульфонов с кардовыми фрагментами

**Ж.И. КУРДАНОВА, К.Т. ШАХМУРЗОВА, А.А. ЖАНСИТОВ, А.Э. БАЙКАЗИЕВ,
А.Л. СЛОНОВ, С.Ю. ХАШИРОВА, М.Х. ЛИГИДОВ, А.К. МИКИТАЕВ**

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
azamat.slonov@yandex.ru

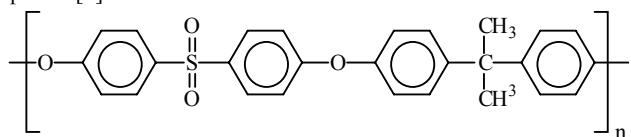
Высокотемпературной поликонденсацией синтезированы сополифениленсульфоны на основе 4,4'-дигидроксидифенила, 4,4'-диоксифталофенона и 4,4'-дихлордифенилсульфона. Методом ИК-спектроскопии подтверждена структура синтезированных сополимеров. Исследованы физико-механические и термические свойства. Показано, что увеличение содержания кардовых фрагментов приводит к повышению температуры стеклования и теплостойкости сополимеров, а также упруго-прочностных свойств.

Ключевые слова: полифениленсульфон, кардовый полифениленсульфон, ИК-спектроскопия, термостойкость, теплостойкость.

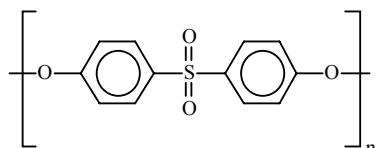
Copolymers based on 4,4'- dihydroxydiphenyl, phenolphthalein and 4,4'-dichlorodiphenyl sulfone were synthesized by the method of high temperature polycondensation. By IR spectroscopy been confirmed the structure of the synthesized copolymers. Physical, mechanical and thermal properties were investigated. It is shown that increase in the content of carded fragments leads to higher glass transition temperature and heat resistance of the copolymers as well as elastic and strength properties.

Keywords: polyphenylene sulfone, cardo polyphenylene sulfone, IR spectroscopy, heat resistance, thermostability.

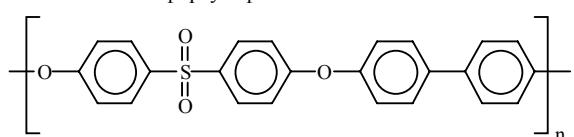
Ароматические полисульфоны представляют большой интерес для различных отраслей промышленности благодаря комплексу ценных свойств, таких как термостойкость, огнестойкость, высокая прочность и др. В настоящее время в промышленных масштабах выпускается три вида полисульфонов [1]:



UDEL Полисульфон



RADEL A Полиэфирсульфон



RADEL R Полифениленсульфон

С целью расширения марочного ассортимента полисульфонов актуальным является синтез сополимеров как статистического, так и блочного строения [2–10].

Еще в тридцатые годы прошлого столетия американскими учеными было предложено использовать в синтезе полиэфиров в качестве бисфенольного составляющего 4,4'-диоксифталофенон (фенолфталеин) [11]. Первые упоминания в патентной литературе по синтезу полисульфонов на основе 4,4'-диоксифталофенона и 4,4'-дихлордифенилсульфона приходятся на 1969 г [12]. Основное внимание было обращено на специфическое влияние кардовых фрагментов на свойства сополимеров, а именно на увеличение теплостойкости полисульфонов. В последующие годы исследования в области кардовых полиэфиров получили широкое развитие [13–20].

Большинство имеющихся научных публикаций посвящено синтезу кардовых сополисульфонов на основе 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана, 4,4'-диоксифталофенона и 4,4'-дихлордифенилсульфона [21, 22], при этом в научной литературе практически отсутствуют работы, посвященные исследованию синтеза и свойств сополисульфонов с кардовыми фрагментами на основе 4,4'-дигидроксидифенила. Сополимеры подобного состава упоминаются лишь в патентно-технической литературе без подробного описания физико-химических свойств [23–28].