

индекса. Последнее связано с совместным присутствием в составе сополимеров ВЭС брома, хлора и фосфора. Сополимеры фосфорхлорсодержащих метакрилатов с ВЭС имеют более высокий коксовый остаток при температуре 500°C (до 30 %), что способствует повышению огнеустойчивости материалов с данными связующими.

Представленные результаты показывают, что для получения сополимеров, имеющих кислородный индекс 30 %, достаточно введение в композицию с винилэфирной смолой DION 9300 20–30 % масс. исследованных фосфорхлорсодержащих метакрилатов.

Литература

1. Бахтина Г.Д., Тужиков О.И., Крюков Н.В. Сополимеризация ненасыщенных полиэфиров с фосфорсодержащими мономерами (обзор) // Пласт. массы. - 1987, № 12. - С.15-17.
2. Новаков, И.А., Бахтина Г.Д., Кочнов А.Б., Ветютнева Ю.В., Аникина Т.А., Шокова С.А. Модифицирование полиэфирных связующих стеклопластиков фосфорсодержащими метакрилатами для снижения их горючести // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева), 2009. - Т. 53, № 4. - С. 35-40.

3. Suzuki Y., Maekawa Z., Hamada H., Kibune M., Hojo M., Ikuta N. Influence of absorption behaviour of a silane coupling agent on interlaminar fracture in glass fibre fabric-reinforced unsaturated polyester laminates // J. Mater. Sci. - 1992. - V. 27, № 24. - PP. 6782-6790.
4. Цубина, Х. В. Эффективный катализатор сополимеризации олигоэфиров малеиновой и метакриловой кислот с фосфорсодержащими мономерами / Х. В. Цубина, П. Г. Антонов, И. М. Альшиц, А. В. Антонова, В. Ф. Шкредов // Химическая технология. Свойства и применение пластмасс: Сб. научн. тр. / ЛТИ им. Ленсовета. - Л., 1976, № 2. - С. 66-74.
5. А.с. 1210444 СССР, МКИ С 08 L 67/06/ Огнестойкая полиэфирная композиция / Ю.Н. Каргин, А.С. Ленин, А.В. Антонова, Г.Д. Бахтина, Л.З. Соколова, С.Е. Фролов, Т.А. Аникина, Л.Н. Соколова-Добрева. - № 3742142/05; заявл. 21.05.84; опубл. 27.06.2000, Бюл. № 18. - С. 489.
6. Бахтина, Г.Д. Сополимеры фосфорсодержащих метакрилатов с ненасыщенным полиэфиром / Г. Д. Бахтина, Ю. В. Ветютнева, А. Б. Кочнов, И. А. Новаков // Пласт. массы, 2007. - № 6. - С. 16-19.

УДК 678.686:677.017.68

Структурообразование в полимерных композиционных материалах с полыми стеклянными микросферами

И.Д. СИМОНОВ-ЕМЕЛЬЯНОВ¹, А.Н. ТРОФИМОВ², Н.В. АПЕКСИМОВ¹, С.Б. ЗУБКОВ¹

¹ ФГБОУ ВПО Московский государственный университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова

² ОАО "НПО Стеклопластик"
simonov@mitht.rssi.ru

Впервые представлены данные об основных и обобщенных параметрах структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДНПКМ) с полыми стеклянными микросферами. Приведены характеристики отечественных полых стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9 и рассчитаны обобщенные параметры структуры для разных групп ДНПКМ, которые определяют их технологические и эксплуатационные свойства, а также выбор эффективного метода переработки в изделия.

Ключевые слова: газонаполненные полимерные композиционные материалы, полые стеклянные микросферы, параметры структуры, свойства.

For the first time are submitted data on the main and generalized structure parameters of disperse filled polymeric composite materials (DFPCM) with hollow glass microspheres. Characteristics of domestic hollow glass microspheres of the MS-VP-A9 brand are provided and the generalized parameters of structure for different groups of DFPCM which define their technological and operational properties, and also a choice of an effective method of processing in products are calculated.

Keywords: gas-filled polymeric composite materials, hollow glass microspheres, parameters of structure, property.

При создании полимерных композиционных материалов (ПКМ) с заданным комплексом технологических и эксплуатационных свойств используются дисперсные порошкообразные наполнители [1]. Легкие с высокой удельной прочностью ПКМ получают при использовании полых микросфер и такие материалы получили название – сферопластики [2–4]. Отечественной промышленностью выпускаются полые стеклянные микросферы марки МС-ВП-А9 (ТУ 6-48-91-92). Небольшое количество зарубежных фирм также производят

полые стеклянные микросферы (ПСМС): "Dupont" и "Ceno Technologies" (США), "Fuji", "Toshiba", "Garasu K.K." и "Hata Hisao K.K." (Япония), "Mineralien-Werke" и "Ilmenau" (Германия).

В отличие от непористых наполнителей свойства полых наполнителей (микросфер) зависят не только от их размеров и природы материала, а также от кажущейся плотности, радиуса внутренней полости, толщины оболочки и вида пористости – открытая, закрытая.

В настоящей статье приводятся данные по основным характеристикам отечественных стеклянных полых микросфер марок МС-ВП-А9 (1л), МС-ВП-А9 (2), МС-ВП-А9 (4) и МС-ВП-А9 (5) (ТУ 6-48-91-92).

При введении в полимерные матрицы дисперсных наполнителей формируется дисперсно-наполненная структура ПКМ (ДНПКМ). Модель структуры описывается основными и обобщенными параметрами, которые определяют технологические и эксплуатационные свойства ПКМ и подробно рассмотрены в работах [5, 6]. При расчете обобщенных параметров структуры и составов ДНПКМ с полыми микросферами следует использовать объемные соотношения между компонентами или истинную плотность полых микросфер, так как только в этом случае учитывается объем закрытых пор в полых частицах.

Истинную плотность ($\rho_{сф}$) ПСМС при известных значениях насыпной плотности ($\rho_{нас}$) и упаковки частиц в объеме [максимальная доля наполнителя (ϕ_m)], которые определяются по известным методикам [4], можно рассчитать по формуле: $\rho_{сф} = \rho_{нас} / \phi_m$, а также по формуле аддитивности:

$$\rho_{сф} = \phi_{об} \rho_{об} + \phi_v \rho_v = \phi_{об} \rho_{об} + (1 - \phi_{об}) \rho_v$$

где $\rho_{об}$ и ρ_v – истинная плотность материала оболочки и воздуха ($\rho_v = 1,29 \text{ кг/м}^3$) соответственно, $\phi_{об}$ и ϕ_v – объемная доля стеклянной оболочки и газа в полый микросфере.

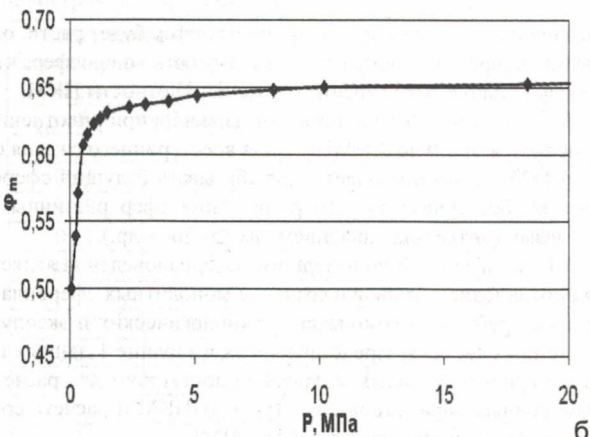
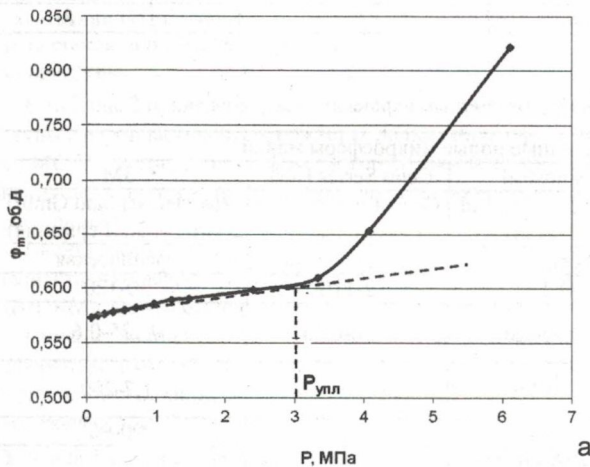


Рис. 1. Зависимость максимальной объемной доли от давления при уплотнении: а) полых стеклосфер марки МС-ВП-А9 (2) (ТУ 6-48-91-92) $\rho = 0,25 \text{ г/см}^3$, б) стеклшариков марки ШСО-50.

При переработке в условиях воздействия внешних давлений, например прессования, ПСМС могут уплотняться, изменять параметр ϕ_m и разрушаться.

На рис.1 в качестве примера приведены экспериментальные зависимости кажущейся плотности и параметра ϕ_m от давления уплотнения для полых микросфер марки МС-ВП-А9 (2) с плотностью $\rho_{сф} = 0,25 \text{ г/см}^3$.

Из рисунка 1 видно, что полые стеклянные микросферы и монолитные стеклосферы марки ШСО (ТУ) уплотняются по разным механизмам [ПМ]. До давления 1,0–2,5 МПа полые микросферы уплотняются в результате разрушения арочных структур и дефектов в упаковке шарообразных частиц наполнителя (аналогично монолитным сферам), достигая значения 0,58–0,60 для разных марок микросфер, что достаточно близко к значению теоретической кубической упаковки шарообразных частиц с коэффициентом упаковки 0,637. Однако, при дальнейшем увеличении давления (более 3МПа) параметр ϕ_m начинает резко возрастать, что связано с разрушением тонкой стеклянной оболочки микросфер. Процесс разрушения ПСМС в условиях не изостатического сжатия, начиная с $P = 3,0 \text{ МПа}$ продолжается с большей скоростью и практическое полное разрушение ПСМС можно наблюдать при давлении $\sim 8 \text{ МПа}$. Стеклянный наполнитель переходит от полых микросфер с плотностью 0,22–0,42 г/см³ к непористым частицам с плотностью 2,4 г/см³, характерной для стекла.

Таким образом, для сохранения структуры полых микросфер в условиях переработки при создании ДНПКМ давление не должно превышать критического значения, равного 3,0 МПа.

В таблице 1 приведены основные параметры отечественных полых стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9 (ТУ 6-48-91-92).

Отечественные марки стеклянных полых микросфер по своим показателям практически не уступают зарубежным производителям (таблица 2). Однако, следует отметить, что фирмы США и Китая предлагают стеклянные полые микросферы небольших диаметров – до 2–9 мкм, что позволяет проектировать, так называемые плотные составы с ϕ_m равным 0,7–0,78 об. д..

Прогнозировать получение и рассчитывать составы сферопластиков на любой полимерной матрице с заданной плотностью можно согласно правилу аддитивности: $\rho_{ПКМ} = \rho_{сф} \phi_{сф} + (1 - \phi_{сф}) \rho_p$, где $\phi_{сф}$ – содержание полых микросфер и ρ_p – плотность полимерной матрицы, учитывая, что формула хорошо работает только до содержания наполнителя равного ϕ_m и при пористости ПКМ равной нулю.

Данные по насыпной плотности и уплотнению полых микросфер под давлением позволили определить их основную характеристику ϕ_m , которая изменяется в небольших пределах от 0,53 до 0,60 (по насыпной плотности) и от 0,58 до 0,62 об.д. (по кривой уплотнения, рис.1).

Характерной отличительной особенностью полых микросфер, как наполнителя, является наличие оболочки с толщиной – $\delta_{об}$, которую можно рассчитать, зная кажущуюся плотность, истинную плотность материала оболочки микросферы и диаметр частиц. При расчёте $\delta_{об}$ можно принять, что среднестатистический коэффициент упаковки сферических частиц одного диаметра равен $\sim 0,6$ (по кривой уплотнения).

От толщины оболочки, ее доли в объеме полый микросферы будет зависеть прочность микросфер, а также максимально

Таблица 1. Характеристики полых стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9 (ТУ 6-48-91-92).

Пп/п	Характеристики стеклянных полых микросфер	Стеклянные полые микросферы марки				
		МС-ВП-А9(1)	МС-ВП-А9(2)	МС-ВП-А9(4)	МС-ВП-А9(5)	
1	Форма частиц	сферическая	сферическая	сферическая	сферическая	
2	Коэффициент формы частиц, (ke)	2,5	2,5	2,5	2,5	
3	Средний диаметр частиц, мкм	74	67	54	62	
4	Удельная поверхность, м ² /г	0,035	0,039	0,048	0,042	
5	Толщина оболочки, мкм	~7,0	~7,0	~7,0	~11,0	
6	Истинная плотность стеклянной оболочки микросфер, 10 ³ , кг/м ³	2,4	2,4	2,4	2,4	
7	Доля стеклянной оболочки в объеме полых микросферы, об. %	9,1	10,2	12,4	17,4	
8	Доля газа в объеме полых микросферы, об. %	90,9	89,8	87,6	82,6	
9	Насыпная плотность 10 ³ , кг/м ³ (ГОСТ 11035.1-93)	0,116	0,144	0,18	0,23	
10	Истинная плотность 10 ³ , кг/м ³ (ГОСТ 18995.1-73) ТУ6-48-91-92	0,22	0,25	0,3	0,42	
11	Максимальная объемная доля полых микросфер (φ _т , об. д.)* по:	- насыпной плотности	0,53	0,57	0,6	0,55
		- по кривой уплотнения	0,58	0,61	0,64	0,62
12	Прочность полых микросфер (10% разрушения в воде), МПа	4,1	6,0	11,5	15,0	
13	Прочность полых микросфер при не изостатическом сжатии (по отклонению кривой уплотнения), МПа	1,0	3,0	7,5	8,5	
14	Показатель рН	8	8	8	8	

* - по методике МИТХТ им. М. В. Ломоносова

Таблица 2. Сравнительные характеристики полых стеклянных микросфер различных марок.

Характеристики стеклянных полых микросфер	Стеклянные полые микросферы марки			
	МС-ВП-А9	Sinosteel	Ceno Series HGT	3M
Страна и фирма производитель	НПО "Стеклопластик" (Россия)	Zhejiang Co., Ltd (Китай)	Ceno Technologies (США)	3M Deutschland GmbH (Интернац., Германия)
Форма частиц	сферическая	сферическая	сферическая	сферическая
Средний диаметр, мкм	40-100	9-120	2-110	30-120
Истинная плотность 10 ³ , кг/м ³ (ГОСТ 18995.1-73)	0,22-0,42	0,25-0,6	0,28-0,63	0,125-0,6
Прочность (10% разрушения в воде), МПа	4-11	10-75	-	1,7-200
Всплытие, %	95-97	96	96	90-96
Показатель рН	08-9,5	8-9,5	8	8

возможное давление при переработке. На рисунке 2 показана зависимость прочности при изостатическом (в воде) нагружении и в условиях не изостатического нагружения (уплотнение под давлением) от $\delta_{об}$ для полых стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9.

За прочность полых микросфер при уплотнении принимали значение критического давления ($P_{упл}$) при начале их разрушения (рис. 1).

Поведение полых микросфер при всестороннем сжатии при испытании в воде, отличается от условий испытания при уплотнении под давлением. Установлено, что с увеличением доли стеклянной оболочки в полых микросфере ее прочность возрастает, причем при достижении доли оболочки ~ 12 об. %, наблюдается резкое повышение ее прочности. Так, прочность при всестороннем сжатии при доле оболочки более 12 об. % на 35-40% превышает прочность при уплотнении.

Таким образом, для получения прочных полых микросфер доля их оболочки должна составлять не менее 12 об.%. С

увеличением ее доли прочность полых сфер будет расти, однако одновременно возрастает и плотность микросфер, что нежелательно с точки зрения снижения плотности ПКМ.

Прочность полых микросфер от давления при уплотнении изменяется от 1,0 до 8,5 МПа, а для всестороннего сжатия от 4 до 14 МПа, что позволяет перерабатывать будущий сферо-пластик без существенного разрушения сфер различными методами (литье под давлением, экструзия и др.).

Основной задачей полимерного материаловедения является определение составов и создание монолитных сферо-пластиков с требуемым комплексом технологических и эксплуатационных свойств. Представленных в таблице 1 данных по характеристикам полых микросфер достаточно для расчета обобщенных параметров структуры ДНПКМ и расчета составов, как было показано в работе [ПМ].

Для всех исследованных стеклянных полых микросфер с диаметром частиц 54-72 мкм обобщенная зависимость представляет собой одну кривую, что указывает на практическое

небольшое изменение параметров структуры сферопластиков при варьировании содержанием полых микросфер, с учетом их размеров (50–70мкм) и значения ϕ_m (0,58–0,62 об.д.). Следует отметить, что доля граничных слоев в сферопластиках при диаметре полых микросфер от 54 до 74 мкм не превышает 0,02 об. д.



Рис. 2. Зависимость прочности в воде (1) и прочности при уплотнении (2) стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9 от доли стеклянной оболочки в объеме полых стеклянной микросферы.

В таблице 3 приведены расчетные параметры фазовой структуры сферопластиков, содержащих полые микросферы марки МС-ВП-А9(4) с диаметром частиц 54 мкм и их классификация по структурному принципу (по значению обобщенного параметра Θ).

Выбор метода переработки и технологические режимы существенно зависят от обобщенного параметра структуры ДНПКМ - Θ , что было рассмотрено ранее в работах [9, 10].

Ниже в таблицах 4 и 5 приведены данные по плотностям сферопластиков на двух полимерных матрицах (эпоксидная и поливинилхлоридная) для разных групп ДНПКМ с полыми микросферами.

Таблица 3 Обобщенные параметры структуры сферопластиков с полыми стеклянными микросферами марки МС-ВП-А9 (4) диаметром частиц 54 мкм при $\phi_m = 0,62$ (по кривой уплотнения).

Содержание полых стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9		Обобщенные параметры структуры сферопластиков								Плотность сферопластиков (г/см ³) на разных полимерных матрицах	
ϕ_m , об. д.	ϕ_m , масс. д.	Θ , об. д.	V, об. д.	M, об. д.	a_{cp} , мкм	a_{cp}/d	f	f*	эпоксидная	ПВХ	
Низконаполненные сферопластики – $1,0 \geq \Theta \geq 0,75$											
0,01	0,02	0,98	0,01	0,00	282,7	5,89	0,63	63	1,19	1,37	
0,09	0,14	0,85	0,05	0,00	87,4	1,82	0,55	6	1,12	1,28	
0,11	0,17	0,82	0,06	0,00	75,6	1,58	0,53	4	1,10	1,26	
0,15	0,22	0,75	0,09	0,01	58,9	1,23	0,49	3	1,07	1,22	
Средненаполненные сферопластики $0,75 \geq \Theta \geq 0,25$											
0,18	0,27	0,70	0,11	0,01	49,9	1,04	0,46	2	1,04	1,19	
0,31	0,42	0,50	0,18	0,01	25,9	0,54	0,33	1	0,92	1,05	
0,47	0,59	0,25	0,27	0,02	10,3	0,21	0,17	0,4	0,78	0,87	
Высоконаполненные сферопластики – $0,25 \geq \Theta \geq 0$											
0,51	0,62	0,18	0,31	0,01	7,3	0,15	0,12	0,25	0,74	0,83	
0,61	0,72	0,01	0,36	0,02	1,5	0,03	0,03	0,05	0,65	0,72	
Сверхвысоконаполненные сферопластики – $\Theta \leq 0$											
0,63	0,74	(- 0,04)	0,37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,70	

Таблица 4. Плотность сферопластиков на основе эпоксидного олигомера и микросфер МС-ВП-А9 для разных групп полимерных материалов.

Группа ДНПКМ	Параметр Θ , об. д.	Плотность сферопластиков, г/см ³			
		МС-ВП-А9 (1л)	МС-ВП-А9 (2)	МС-ВП-А9 (4)	МС-ВП-А9 (5)
Группа 1 Низконаполненные	$1,0 \geq \Theta \geq 0,75$	от 1,2 до 1,06	от 1,2 до 1,06	от 1,2 до 1,06	от 1,2 до 1,08
Группа 2 Средненаполненные	$0,75 \geq \Theta \geq 0,25$	от 1,06 до 0,78	от 1,06 до 0,77	от 1,06 до 0,78	от 1,08 до 0,84
Группа 3 Высоконаполненные	$0,25 \geq \Theta \geq 0$	от 0,78 до 0,64	от 0,77 до 0,63	от 0,78 до 0,63	от 0,84 до 0,72
Группа 4 Сверхвысоконаполненные	$\Theta \leq 0$	от 0,64 до 0,63	от 0,63 до 0,62	от 0,63 до 0,62	от 0,72 до 0,71

Таблица 5. Плотность сферопластиков основе ПВХ и микросфер МС-ВП-А9 для разных групп полимерных материалов.

Группа ДНПКМ	Параметр Θ , об. д.	Плотность сферопластиков, г/см ³			
		МС-ВП-А9 (1л)	МС-ВП-А9 (2)	МС-ВП-А9 (4)	МС-ВП-А9 (5)
Группа 1 Низконаполненные	$1,0 \geq \Theta \geq 0,75$	от 1,38 до 1,21	от 1,38 до 1,21	от 1,38 до 1,21	от 1,38 до 1,23
Группа 2 Средненаполненные	$0,75 \geq \Theta \geq 0,25$	от 1,21 до 0,88	от 1,21 до 0,87	от 1,21 до 0,87	от 1,23 до 0,94
Группа 3 Высоконаполненные	$0,25 \geq \Theta \geq 0$	от 0,88 до 0,72	от 0,87 до 0,70	от 0,87 до 0,70	от 0,94 до 0,79
Группа 4 Сверхвысоконаполненные	$\Theta \leq 0$	от 0,72 до 0,70	от 0,70 до 0,69	от 0,70 до 0,69	от 0,79 до 0,78

Сферопластики относящиеся к разным группам имеют разные характеристики по плотности. Легкие монолитные композиционные материалы (легче воды) можно получить как на термопластичной, так и терморективной матрицах с использованием стеклянных микросфер марки МС-ВП-А9 (2) и с плотностью от 0,95 до 0,62 г/см³.

По приведенным данным можно прогнозировать составы ДНПКМ с заданными параметрами структуры и соответственно свойствами, а также судить о перерабатываемости сферопластиков на разных полимерных матрицах и выбирать методы их переработки в изделия.

Характерной особенностью сферопластиков при переработке является процессы разделения легких наполнителей и полимерных связующих, однако это определяется в первую очередь параметрами структуры и вязкостью полимера. Так, установлено, что для высоконаполненных и сверхвысоконаполненных сферопластиков разделения компонентов не происходит в процессах переработки.

Таким образом, обобщенные параметры дисперсно-наполненной структуры позволяют еще на стадии проектирования создавать составы сферопластиков с требуемыми технологическими и эксплуатационными свойствами, используя твердые полые микросферы с известными основными характеристиками и разными полимерными матрицами.

Настоящая работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 218 от 09 апреля 2010 года.

Литература

1. Функциональные наполнители для пластмасс. Под ред. Марино Ксантос, пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева, М.: Научные основы и технологии, 2010. 576 с.

2. Берлин А.А., Шутов Ф. А. Упрочненные газонаполненные пластмассы. М.: Химия, 1980. 224 с.
3. Будов В.В. Полые стеклянные микросферы. Применение, свойства, технология. Стекло и керамика. 1994, № 7-8
4. Симонов-Емельянов И.Д. Сборник аналитических и проблемных задач по курсу "Принципы создания композиционных материалов" / И.Д. Симонов - Емельянов, Л. Б. Кандырин. - М.: МИХМ, 1999. 85 с.
5. Симонов-Емельянов И.Д., Апексимов Н.В., Зарубина А.Ю., Зубков С.Б. Обобщенные параметры структуры, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов со стеклянными шариками. Пластические массы, 2012, № 6, с. 19-22
6. Симонов-Емельянов И.Д., Апексимов Н.В., Зарубина А.Ю., Зубков С.Б. Обобщенные параметры структуры, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов. Пластические массы, 2012, № 6, с. 19-22
7. Симонов-Емельянов И.Д. Основные характеристики наполнителей пластмасс, в сб. "Наполнители полимерных материалов", МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1977, с.19-26;
8. Симонов-Емельянов И.Д. "Регулирование плотности упаковки дисперсных наполнителей пластмасс, в сб. "Наполнители полимерных материалов" МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1983, с.147-157;
9. Симонов-Емельянов И.Д., Трофимичева Л.З., Кулезнев В.Н. Обобщенные параметры дисперсной структуры наполненных полимеров. Пластические массы, 1989, № 1, с. 19-22.
10. В кн. Полимерные композиционные материалы. Состав. Структура. Свойства. Под ред. акад. А. А. Берлина, гл. 7 "Технология получения дисперсно-наполненных пластических масс. И. Д. Симонов-Емельянов, С. Петербург, Профессия, 2009 с.314-354.

УДК 678.01:537.311

Влияние механической деформации на электрические свойства композиций

М.Е. САВВИНОВА, Н.А.КОВАЛЕНКО

Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск
Svv_maria@rambler.ru

Исследовано влияние механической деформации на электрические свойства композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука. Показано, что общая проводимость композиции обеспечивается за счет образования непосредственного контакта между частицами токопроводящего наполнителя, что приводит к образованию пространственной токопроводящей сетки в объеме композиции. Установлено, что механизм изменения проводимости под воздействием температуры обусловлен термической деформацией полимерной матрицы.

Ключевые слова: электропроводящий полимерный композиционный материал, температура саморегулирования, положительный температурный коэффициент сопротивления.

Influence of mechanical deformation on electric properties of compositions on the basis of butadiene-nitrile rubber are researched. It is shown, that the general conductivity of a composition is provided due to formation of direct contact between particles current-carrying filler, that leads to formation of a spatial current-carrying grid in volume of a composition. It is established, that the mechanism of change of conductivity under influence of temperature is caused by thermal deformation of a polymeric matrix.

Keywords: power conducting polymer composite material, temperature self-regulating, positive temperature resistance coefficient.

Введение

При обсуждении механизмов электропроводности электропроводящих композиционных материалов следует в качес-

тве доминирующей выделить "контактную" проводимость, когда носители заряда сосредоточены на частицах наполнителя и перенос заряда возможен лишь при непосредственном кон-