

ЛИТЕРАТУРА

1. Шершнева, В. А. Развитие представлений о роли активаторов серной вулканизации углеводородных эластомеров. Часть 1 / В. А. Шершнева // Каучук и резина. – 2012. – № 1. – С. 31–37.
2. Исследование свойств резин в присутствии композиционного активатора вулканизации / О. В. Карманова, С. Г. Тихомиров, Л. В. Попова, А. Ю. Фатнева // Каучук и резина. – 2020. – Т. 79, № 1. – С. 28–31.
3. Мухутдинов, А. А. Экологические аспекты модификации ингредиентов и технология производства шин [/ А. А. Мухутдинов, А. А. Нелюбин, Р. С. Ильясов и др. – Казань: Фэн, 1999. – 400 с.
4. Программное обеспечение задачи определения оптимального времени вулканизации резиновых смесей / С. Г. Тихомиров, О. В. Карманова, В. К. Битюков, А. А. Маслов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2018. – № 4. – С. 108–116.

УДК 677.494.6:678.82

Вишневская Т.А., Прокопчук Н.Р.

(Белорусский государственный технологический университет)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА РЕБИНДЕРА У НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ПА-6

Цель работы – доказать усиление межмолекулярных взаимодействий ПА-6 наночастицами с помощью различий в проявлении эффекта Ребиндера на модифицированных и не модифицированных образцах.

Физически активные (химически инертные) жидкости вызывают обратные изменения межмолекулярных взаимодействий в полимерах, а химически агрессивные – необратимые изменения, вызванные деструкцией макромолекул. Снижение прочности полимера при уменьшении межмолекулярных взаимодействий под воздействием физически агрессивных сред, является одной из форм известного эффекта Ребиндера. Жидкость, адсорбированная на поверхности полимера, даже в малых количествах, может сильно понижать его прочность. Разрушение полимера – это процесс развития новых поверхностей, сопровождающийся снижением межмолекулярных взаимодействий, а следовательно, существенным уменьшением работы разрушения, что проявляется в снижении прочности [1, 2].

Ранее, нами был предложен, экспериментально и теоретически обосновывается, механизм упрочнения ПА-6: наночастицы, имея на своей поверхности не скомпенсированный электрический заряд взаимодействуют с полярными группами макромолекул, при этом образуются дополнительные к существующим в не модифицированном полимере, межмолекулярные взаимодействия [1].

Наличие взаимодействия между поверхностью полимера и жидкостью, уменьшает потенциальный барьер его разрыва, фактически за счёт снижения межмолекулярных взаимодействий, так как химические связи при этом не меняют свой энергии [1, 3].

Эффект Ребиндера сильнее проявляется при адсорбции полярных жидкостей на полярных полимерах, поэтому для полярного ПА-6 была выбрана физически агрессивная полярная жидкость – вода. Время выдержки образцов ПА-6 в воде в течение часа при 20°C было достаточным для ее адсорбции на активных участках образцов и вершинах микротрещин. В работе [4] установлена четкая корреляция между понижением поверхностной энергии (α) и уменьшения предела вынужденной эластичности (σ) на системе полистирол-спирт. Поэтому исследование проводилось на растяжение, удар и изгиб в жёстких напряженных состояниях (без проявления пластических деформаций).

$$(\alpha_{\text{ж}}/\alpha_{\text{в}})^{1/2} = \sigma_{\text{ж}} / \sigma_{\text{в}}$$

где индекс ж – адсорбция жидкости; в – воздух.

Снижение устойчивости ПА-6 к механическим воздействиям при адсорбировании воды на поверхности образцов (лопаток, брусков), это является следствием экранирования водой межмолекулярных взаимодействий.

На границе раздела полимер-жидкость, под действием жидкой среды снижается межмолекулярное взаимодействие (макромолекулы «ограничиваются», механическая нагрузка сосредотачивается в основном на химических связях макромолекул, они легче разрываются, и как следствие, прочность полимера снижается [2].

Чем активнее жидкая среда, тем больше она снижает межмолекулярные взаимодействия, и тем меньше доля их остается на поверхности полимера.

Изменение предела текучести (σ_{T}), максимальной изгибающей нагрузки ($F_{\text{и}}$) и ударная вязкость по Шарпи с надрезом ($K_{\text{н}}$) при адсорбции воды на образцах ПА-6 представлены в таблице 1.

Фактически, проведенный эксперимент доказывает существование межмолекулярных взаимодействий, образованных наночастицами с полярными группами макромолекул ПА-6. Соответственно, в результате

воздействия воды, эффект Ребиндера на модифицированных образцах ПА-6 проявляется в меньшей степени.

Таблица 1 – Изменение предела текучести и деформации при пределе текучести при адсорбции воды на образцах ПА-6

Образец Показатель	До воздействия воды, н.у.			После воздействия воды		
	ПА-6	ПА-6, 0,015% масс. TiO ₂	ПА-6, 0,015% масс. ZnO	ПА-6	ПА-6, 0,015% масс. TiO ₂	ПА-6, 0,015% масс. ZnO
σ_t , МПа	52,4	62,2	57,8	42,8	55,8	51,1
F_n , Н	178,8	196,5	191,4	143,0	170,0	163,0
K_n , кДж/м ²	7,07	8,69	7,73	5,73	7,74	6,80

Снижение предела текучести в результате адсорбции воды составляет у чистого ПА-6 – 18,3 %, у ПА-6, содержащего 0,015 % масс. TiO₂ – 10,3 %, у ПА-6, содержащего 0,015 % масс. ZnO – 11,6 %. Снижение максимальной изгибающей нагрузки составляет соответственно: 20,0, 13,5 и 14,8%. Понижение ударной вязкости по Шарпи: 18,9, 10,9, 12,1% соответственно.

Как видно из полученных данных, снижение всех трех показателей механических свойств под действием адсорбционной воды носит аналогичную зависимость. В результате, основываясь на рассмотренных показателях можно расположить исследуемые образцы в ряд по эффективности воздействия воды в поле механических сил: ПА-6 > ПА-6 0,015% ZnO > ПА-6 0,015% TiO₂. Это согласуется с тем, что межмолекулярные взаимодействия возрастает в ряду: ПА-6 > ПА-6 0,015% ZnO > ПА-6 0,015% TiO₂ [1] и одновременно подтверждает полученными нами ранее данные об усилении межмолекулярных взаимодействий в ПА-6 наночастицами.

Эффект Ребиндера у наномодифицированных образцов ПА-6 проявляется в меньшей мере (меньше снижение рассматриваемых показателей), так как разрушение макромолекул происходит по аморфным областям, а степень кристалличности образцов повышается в ряду: ПА-6 < ПА-6 0,015% ZnO < ПА-6 0,015% TiO₂.

В результате, большая доля межмолекулярных взаимодействий на поверхности наномодифицированных образцов не разрушается под действием адсорбированной воды, и процент сохранения прочностных показателей возрастает.

Таким образом, наномодификация ПА-6 даже сверхмалыми дозами наночастиц позволяет существенно нивелировать негативные последствия

эффекта Ребиндера, вызываемого водой. Полученные данные однозначно свидетельствуют о том, что основная роль в этом процессе принадлежит не объёмному заполнению, а поверхностным явлениям.

Это имеет важное практическое значение, т.к. изделия из ПА-6, эксплуатируемые в атмосфере, периодически подвергаются воздействию осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Влияние наночастиц оксидов металлов на механические свойства полиамида 6». / Т. А. Вишневская, Н. Р. Прокопчук. ПМТ, Т-11, (2025), №2, – С. 31–38.
2. Тынный А.Н. Прочность и разрушение полимеров при воздействии жидких сред [Текст] / АН УССР. Физ.-мех. ин-т. – Киев : Наук. думка, 1975. – 206 с.: граф.; 22 см.
3. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред / Ю.С. Зуев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Химия, 1972. – 229 с.: ил.: 1.10.
4. Е.А. Синевич, Р.П. Огородов, Н.Ф. Бакеев. Адсорбционное влияние жидких сред на механические свойства полимеров.-ДАНССР, 1973, т.212; №6, с.1383–1385

УДК 546.47:66.081.3

**Чикунская В.М., Огородников В.А.,
Будкуте И.А., Щербина Л.А.**
(Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ S- И D-МЕТАЛЛОВ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ

Полиакрилонитрил является одним из самых перспективных полимеров в плане проведения модификации благодаря своей способности подвергаться различным химическим превращениям, приводящим к получению материалов с заданными свойствами [1].

В результате ранее проведённых исследований по созданию сорбционных материалов на основе сополимеров акрилонитрила (АН) с различными кислотными сомономерами было установлено, что сополимеры