УДК 678.01:543.2:547.56

ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА УСТАЛОСТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ РЕЗИН НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВОГО КАУЧУКА

К. В. ВИШНЕВСКИЙ, Ж. С. ШАШОК
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Силиконовые каучуки (СК) занимают особое место среди эластомерных материалов благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных характеристик: широкому интервалу рабочих температур, высокой химической стойкости, биоинертности и превосходным диэлектрическим свойствам [1]. Однако, несмотря на очевидные преимущества, применение силоксановых эластомеров в изделиях, подвергающихся циклическому нагружению (уплотнительные манжеты, виброизоляторы, гибкие соединительные элементы), часто ограничивается недостаточной прочностью и усталостной выносливостью. Данный параметр является критическим показателем долговечности и определяется не только природой каучука, но и типом вулканизующей системы, которая формирует структуру пространственной сетки [2].

В промышленной практике наиболее распространённым методом вулканизации СК является радикальная пероксидная сшивка. Пероксид определяет не только кинетику процесса и степень сшивания, но и структурно-морфологические характеристики сетки. В частности, бифункциональные пероксиды, такие как DBPMH (2,5-диметил-2,5-ди(трет-бутилперокси)гексан) и BIBP (бис-(трет-бутилдиоксиизопропил)бензол), способны инициировать образование более упорядоченной сетки за счёт двух активных пероксидных групп в молекуле. В то же время традиционно используемые DCP (дикумилпероксид) и DCLBP (2,4-дихлорбензоилпероксид) формируют сетку с иной структурой, что может приводить к локальной неоднородности и снижению скорости протекания релаксационных процессов.

Цель работы – систематическое исследование влияния типа пероксидного вулканизующего агента на усталостную выносливость резин на основе метилвинилсилоксанового каучука со средней степенью наполнения, обеспечивающей твердость по Шору А около 40 усл. ед. Выбор данной рецептуры обусловлен её широким применением при производстве герметизирующих и амортизирующих изделий, работающих в условиях динамических нагрузок. В качестве объектов сравнения выступали четыре вулканизующие системы: DBPMH, BIBP, DCP и DCLBP. Вулканизацию проводили при оптимальных для каждого пероксида температурно-временных режимах, обеспечивающих максимальную степень превращения.

Оценку усталостной выносливости осуществляли по стандартизированной методике многократного продольного изгиба (ГОСТ 9983) на образцах-полосках с

проколом. Оценка усталостной выносливости проводилась на основе данных по сопротивлению резины разрастанию трещин. За результат принималось среднее арифметическое испытаний всех образцов, при этом регистрировалось количество циклов нагружения до разрастания трещины до величины 12 мм. Испытания проводились при комнатной температуре (23 ± 2) ºС с частотой деформирования 5 Гц.

Результаты испытаний показали, что усталостная выносливость в значительной степени зависит от природы пероксида. Наименьшую стойкость к циклическому нагружению показали образцы с DCLBP – 126 тыс. циклов; максимальное количество циклов нагружения (160 тыс. циклов) выявлено для композиции, вулканизованной DBPMH, что на 27 % выше по сравнению с DCLBP и на 20 % выше, чем для стандартного DCP (133 тыс. циклов). Резины с BIBP характеризуются промежуточным значением (147 тыс. циклов), что также на 10,5 % превосходит показатель резин с DCP.

Полученные результаты, вероятно, связаны с тем, что бифункциональные пероксиды DBPMH и BIBP, обладая двумя реакционноспособными центрами, инициируют образование более гибкой и однородной пространственной сетки с оптимальной длиной цепи между сшивками. Такая структура способствует эффективной диссипации механической энергии в зоне вершины растущей усталостной трещины за счёт реализации механизмов вынужденной высокоэластичности и ориентационного упрочнения [3]. Напротив, DCLBP и DCP, формируя сетку с более высокой локальной плотностью узлов и наличием дефектных областей, создают жёсткие области, которые в условиях циклического деформирования выступают в роли концентраторов напряжений. Это приводит к ускоренному зарождению и росту микротрещин усталости, что и обусловливает более низкие значения показателя сопротивления резины разрастанию трещин.

Практическая значимость проведённого исследования заключается в обоснованном выборе вулканизующей системы для компаундов на основе ПМВС-40, предназначенных для изготовления изделий, эксплуатируемых в режиме многократных циклических деформаций. Замена традиционного DCP на DBPMH или BIBP позволяет увеличить ресурс работы уплотнительных и амортизирующих элементов на 20 %...27 % без изменения рецептуры наполнения и технологических параметров переработки, что открывает дополнительные резервы повышения надёжности и долговечности продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Shit, S. C.** A Review on Silicone Rubber / S. C. Shit, P. Shah // National Academy Science Letters. – 2013. – Vol. 36, № 4. – P. 355–365.

2. **Norouznezhad, M.** Cross-linking network topology and durability in silicone rubber sealants for PEMFCs: the impact of curing systems and nanosilica interactions / M. Norouznezhad, H. Janani // Journal of Polymer Research. – 2024. – Vol. 31, № 2. – Art. 45.

3. Temperature-Dependent Viscoelastic Energy Dissipation and Fatigue Crack Growth in Filled Silicone Elastomers / Q. Chen [et al.] // ACS Applied Polymer Materials. – 2021. – Vol. 3, № 12. – P. 6207–6217.