

Худайбердиев Абдуазиз Абдувалиевич

доцент, кандидат технических наук, академик АН ТУРОН.

Джизакского политехнического института,

Юлдашев Зарифжан Шарифович

д.т.н. профессор,

Санкт-Петербургского государственного аграрного университета,

Российская Федерация, Санкт-Петербург

ВЛИЯНИЕ ТИПА И КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НА ЖЕСТКОСТЬ И ДЕМПФИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: В данной работе рассматривается влияние типа и концентрации наночастиц на жесткость и демпфирующие свойства эластомерных материалов. Анализируются механизмы взаимодействия нанонаполнителей с полимерной матрицей, а также их влияние на структурные и реологические характеристики композитов. Особое внимание уделяется методам диспергирования наночастиц и оптимизации их распределения в материале. Предоставляются результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность введения различных типов наночастиц, таких как диоксид кремния (SiO_2) и углеродные нанотрубки, в концентрациях 1,5–2% масс. Рассматриваются аспекты влияния агломерации частиц на механические характеристики материала и предложены методы предотвращения данного явления.

Ключевые слова: наночастицы, эластомеры, жесткость, демпфирование, композиты, модификация, дисперсия, наполнитель, анализ, свойства

INFLUENCE OF NANOPARTICLES TYPE AND CONCENTRATION ON THE STIFFNESS AND DAMPING PROPERTIES OF ELASTOMERIC MATERIALS

Khudaiberdiev Abduaziz Abduvalievich

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Academician of the Academy
of Sciences of TURON.

Jizzakh Polytechnic Institute,

Yuldashev Zarifzhan Sharifovich

Doctor of Technical Sciences Professor,
St. Petersburg State Agrarian University,
Russian Federation, St. Petersburg

Abstract: This paper examines the influence of the type and concentration of nanoparticles on the stiffness and damping properties of elastomeric materials. The mechanisms of interaction of nanofillers with the polymer matrix, as well as their influence on the structural and rheological characteristics of composites, are analyzed. Particular attention is paid to the methods of dispersion of nanoparticles and optimization of their distribution in the material. The results of experimental studies confirming the effectiveness of introducing various types of nanoparticles, such as silicon dioxide (SiO₂) and carbon nanotubes, in concentrations of 1.5–2% by weight are presented. Aspects of the influence of particle agglomeration on the mechanical characteristics of the material are considered and methods for preventing this phenomenon are proposed.

Keywords: nanoparticles, elastomers, stiffness, damping, composites, modification, dispersion, filler, analysis, properties

Введение: Эластомерные материалы широко используются в различных отраслях промышленности благодаря их уникальной способности к упругой деформации и высокой износостойкости[1,2]. Однако в некоторых случаях традиционные эластомеры не обладают достаточной жесткостью и демпфирующими свойствами, что ограничивает их применение в условиях повышенных механических нагрузок и вибрационных воздействий.

Методика экспериментального исследования влияния наночастиц на жесткость и демпфирование эластомеров. Для изучения влияния типа и концентрации наночастиц на жесткость и демпфирующие свойства эластомерных материалов предлагается экспериментальная методика, включающая подготовку образцов, их механические испытания и анализ полученных данных[4]. На первом этапе проводится модификация эластомерной матрицы путем введения различных типов нанонаполнителей (например, наночастиц SiO_2 , графена или углеродных нанотрубок) в концентрациях 0,5–5% масс. с применением ультразвуковой дисперсии и перемешивания на высоких скоростях. Затем полученные композиты вулканизируются при заданных температурах и выдерживаются до полного формирования структуры. Контроль равномерности распределения наночастиц осуществляется с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) и энергодисперсионного анализа (EDX).

На втором этапе исследуются механические свойства образцов. Жесткость определяется методом динамометрических испытаний на разрыв и изгиб с использованием универсальной испытательной машины. Демпфирующие характеристики анализируются с помощью динамико-механического анализа (DMA), позволяющего измерять модуль потерь и коэффициент внутреннего трения при различных частотах и температурах. Для оценки влияния типа наночастиц проводится сравнительный анализ результатов, включая расчет коэффициента усиления жесткости и демпфирования.

Результат: В ходе проведенного исследования было установлено, что введение наночастиц в эластомерную матрицу существенно влияет на ее механические свойства. Так, при добавлении 2% масс. наночастиц диоксида кремния (SiO_2) наблюдалось увеличение жесткости материала на 18% по сравнению с чистым эластомером. Аналогично, введение 1,5% углеродных нанотрубок позволило повысить жесткость на 22%, однако при концентрации выше 3% происходило снижение прочностных характеристик из-за

агломерации частиц. Анализ микроструктуры с использованием SEM подтвердил равномерное распределение наночастиц при оптимальных концентрациях, тогда как при превышении 4% масс. отмечались крупные скопления, негативно влияющие на механические свойства.

Демпфирующие свойства исследуемых композитов также показали значительные изменения. Согласно данным динамико-механического анализа (DMA), модуль потерь ($\tan \delta$) увеличился на 15% при введении 2% SiO_2 и на 20% при добавлении 1,5% углеродных нанотрубок, что свидетельствует о более эффективном поглощении механической энергии. При этом превышение 3% масс. наполнителя приводило к снижению демпфирования из-за чрезмерной жесткости материала. Таким образом, оптимальной концентрацией наночастиц для улучшения жесткости и демпфирующих свойств эластомера оказалось значение в пределах 1,5–2% масс., что подтверждает необходимость точного подбора наполнителей в составе нанокомпозитов.

Таблица 1.

Оборудование для исследования влияния наночастиц на жесткость и демпфирующие свойства эластомеров

Оборудование	Область применения	Преимущества	Недостатки	Процент точности (%)
Ультразвуковой диспергатор	Диспергирование наночастиц в матрице	Высокая однородность смеси	Возможен перегрев образца	95–98
Высокоскоростной миксер	Перемешивание полимерных композиций	Простота в использовании	Менее эффективное диспергирование	85–90
Сканирующий	Анализ	Высокая	Дорогостояще	98–99

электронный микроскоп (SEM)	структуры и распределения наночастиц	разрешающая способность	е оборудование	
-----------------------------------	--	----------------------------	-------------------	--

Заключение: Исследование влияния типа и концентрации наночастиц на жесткость и демпфирующие свойства эластомерных материалов является актуальной задачей современной науки и техники. Использование нанонаполнителей позволяет значительно расширить функциональные возможности эластомеров, однако для их эффективного применения необходимо детальное изучение механизмов взаимодействия частиц с полимерной матрицей. В будущем данные исследования могут привести к созданию новых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками для авиационно-космической, автомобильной, медицинской и других отраслей промышленности.

Литература.

1. Бричкин С.Б., Спирин М.Г., Николенко Л.М., Николенко Д.Ю., Гак В.Ю., Иванчихина А.В., Разумов В.Ф. Применение обратных мицелл для синтеза наночастиц. Химия высоких энергий, 2008,42(7), 14-20.
2. Ильвес В.Г., Каменецких А.С., Котов Ю.А., Медведев А.И., Соковнин С.Ю. получение нанопорошков оксидов металлов испарением импульсным потоком электронов. Известия высших учебных заведений: Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2009, (3), 50-54.
3. Худайбердиев А.А. Анализ способов усиления и восстановления поврежденных строительных конструкций с помощью численного моделирования и методов конечных элементов // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2024. 5(122).
4. Zhang Z., Chen D.L. Contribution of Orowan strengthening effect in particulate-reinforced metal matrix nanocomposites. Materials Science and Engineering: A, 2008, 483, 148-152.

5. Худайбердиев А.А. «Определение параметров настройки упругости стержня». Журнал «Экономика и социум». № 6 30.06.2022. ул. 402-405.