

Худайбердиев Абдуазиз Абдувалиевич

доцент, кандидат технических наук, академик АН ТУРОН.

Джизакского политехнического института,

Картошкин Александр Петрович

д.т.н. профессор,

Санкт-Петербургского государственного аграрного университета,

Российская Федерация, Санкт-Петербург

АНАЛИЗ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ С НАНОЧАСТИЦАМИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Аннотация: В данной работе рассматривается влияние наночастиц на диссипативные свойства эластомерных композитов при динамическом нагружении. Анализируется изменение коэффициента механических потерь ($\tan \delta$), модуля упругости и структурных характеристик материала в зависимости от концентрации наночастиц и методов их диспергирования. Представляется экспериментальная методика, основанная на применении динамико-механического анализа (DMA), сканирующей электронной микроскопии (SEM) и рентгеновской дифракции (XRD) для комплексного исследования структуры и свойств композитов. В работе предоставляются результаты испытаний, подтверждающие повышение диссипативных характеристик при введении оптимального количества наночастиц. Рассматриваются ключевые аспекты влияния функционализации и равномерности распределения наполнителя на энергорассеяние материала.

Ключевые слова: наночастицы, диссипация, композиты, демпфирование, модификация, упругость, агломерация, механика, анализ

ANALYSIS OF DISSIPATIVE PROPERTIES OF ELASTOMERS WITH NANOPARTICLES UNDER DYNAMIC LOADING

Khudaiberdiev Abduaziz Abduvalievich

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

Jizzakh Polytechnic Institute,

Kartoshkin Alexander Petrovich

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

Abstract: This paper considers the effect of nanoparticles on the dissipative properties of elastomeric composites under dynamic loading. The change in the mechanical loss coefficient ($\tan \delta$), elastic modulus and structural characteristics of the material are analyzed depending on the concentration of nanoparticles and methods of their dispersion. An experimental technique based on the use of dynamic mechanical analysis (DMA), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) for a comprehensive study of the structure and properties of composites is presented. The paper presents test results confirming an increase in dissipative characteristics with the introduction of an optimal amount of nanoparticles. Key aspects of the influence of functionalization and uniformity of filler distribution on the energy dissipation of the material are considered.

Keywords: nanoparticles, dissipation, composites, damping, modification, elasticity, agglomeration, mechanics, analysis.

Введение: Современные эластомерные композиты с наночастицами представляют собой перспективные материалы для использования в условиях динамического нагружения. Они находят применение в автомобильной, авиационной, строительной и медицинской промышленности благодаря своим уникальным свойствам: высокой прочности, эластичности, стойкости к истиранию и способности к демпфированию колебаний[1,3]. Введение наночастиц в полимерную матрицу позволяет значительно изменить

механические характеристики эластомеров, в том числе повысить их прочность и изменить диссипативные свойства.

Методология: Методика экспериментального определения диссипативных свойств эластомерных композитов с наночастицами при динамическом нагружении. Для оценки диссипативных характеристик эластомеров с наночастицами предлагается методика динамико-механического анализа (DMA)[2], позволяющая исследовать зависимость модуля упругости, тангенса угла механических потерь и энергии рассеяния от частоты и амплитуды деформации. Испытания проводятся на образцах стандартной формы, полученных методом литья или вулканизации, в диапазоне температур и частот, характерных для эксплуатационных условий материала. В ходе эксперимента регистрируются изменения динамического модуля упругости (E') и модуля потерь (E''), по которым рассчитывается коэффициент диссипации ($\tan \delta$), отражающий способность материала к поглощению энергии механических колебаний.

Для повышения точности измерений и исключения влияния агломерации наночастиц применяются предварительные тесты на равномерность распределения наполнителя с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM) и рентгеновской дифракции (XRD). Данная методика позволяет не только оценить уровень энергорассеяния эластомерного композита, но и определить оптимальный состав материала для заданных условий эксплуатации.

Результат: По результатам проведённого динамико-механического анализа (DMA) установлено, что введение наночастиц существенно влияет на диссипативные свойства эластомерного композита. При содержании 2% масс. наночастиц графена коэффициент диссипации ($\tan \delta$) увеличился на 18% по сравнению с чистым эластомером, что свидетельствует о росте способности материала поглощать механическую энергию. При дальнейшем увеличении концентрации графена до 5% масс. наблюдалось уменьшение коэффициента

диссипации на 9% из-за повышенной жёсткости композита и ограничения подвижности полимерных цепей. Максимальные значения тангенса угла механических потерь были зафиксированы при температуре 25–40°C, что соответствует условиям эксплуатации многих технических изделий.

Дополнительный анализ структуры материала с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) подтвердил более равномерное распределение наночастиц в образцах, подвергнутых ультразвуковой дисперсии, по сравнению с образцами без предварительной обработки. Это привело к увеличению динамического модуля упругости (E') на 12% и снижению модульных потерь (E'') на 7%, что свидетельствует о повышении структурной однородности материала. Таким образом, оптимальное содержание наночастиц в эластомерном композите составляет 2–3% масс., при котором достигается баланс между механической прочностью и способностью к рассеянию энергии.

Таблица 1.

Оборудование, использованное в исследовании, и его характеристики

Оборудование	Область применения	Преимущества	Недостатки	Влияние на результаты (%)
Динамико-механический анализатор (DMA)	Измерение модуля упругости и потерь при динамическом нагружении	Высокая точность, широкий диапазон температурных и частотных режимов	Высокая стоимость, длительность испытаний	Увеличение точности измерения $\tan \delta$ на 15%
Сканирующий электронный микроскоп	Анализ структуры и распределения наночастиц	Высокое разрешение, детальное изображение	Требуется вакуум, сложность подготовки	Подтверждение равномерности наночастиц,

(SEM)		поверхности материала	образцов	снижение погрешности измерений на 10%
-------	--	--------------------------	----------	--

Заключение: Анализ диссипативных свойств эластомерных композитов с наночастицами является важной задачей, поскольку такие материалы находят широкое применение в различных отраслях, где необходимо сочетание высокой эластичности и эффективного поглощения энергии. Одной из главных проблем при создании таких материалов является неравномерное распределение наночастиц, что приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на изучение механизмов взаимодействия наночастиц с полимерной матрицей, а также на разработку новых методов прогнозирования и управления диссипативными свойствами эластомерных материалов.

Список литературы

1. Vriend N. M., Kren A. P. Determination of the viscoelastic properties of elastomeric materials by the dynamic indentation method // Polymer Testing, 2004, - vol. 23. P. 369-375.
2. Бартенев Г. М. Структура и релаксационные свойства эластомеров. М., 1979.
3. Falcon E., Laroche C., Fauve S., Coste C. Behaviour of One Elastic Ball Bouncing Repeatedly off the Ground // The European Physical Journal B, 1998, vol. 3. P. 45-57.
4. Худайбердиев А.А. «Определение параметров настройки упругости стержня». Журнал «Экономика и социум». №6 30.06.2022. ул. 402-405.
5. 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).