

магистрант Бухарского
государственного университета
e-mail: aqsungultoremuratova@gmail.com

Назаров Эркин Садикович,
кандидат технических наук, доцент Бухарского
государственного университета
e-mail: nazarov.es68@mail.ru

УДК 678.043+678.074

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЁТОМ ИХ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Аннотация: В статье рассмотрена методика выбора оптимальной структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ПНКМ) на основе анализа их физико-механических свойств. Основное внимание уделено подбору компонентов, таких как полимерная матрица и дисперсный наполнитель, а также их оптимальному соотношению. Приведены основные подходы к повышению совместимости компонентов и улучшению характеристик материала. Рассмотрены методы экспериментальной и вычислительной оценки полученных материалов.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, дисперсные наполнители, физико-механические свойства, оптимизация структуры, совместимость компонентов.

Abstract: The article considers a method for choosing the optimal structure of disperse-filled polymer composite materials (DFPCM) based on the analysis of their physical and mechanical properties. The main attention is paid to the selection of components such as polymer matrix and dispersed filler, as well as their optimal ratio. The main approaches to improving the compatibility of components and improving the characteristics of the material are presented. The methods of experimental and computational evaluation of the obtained materials are considered.

Key words: polymer composite materials, dispersed fillers, physical and mechanical properties, optimization of structure, compatibility of components.

Введение. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко используются в различных отраслях промышленности благодаря своей универсальности и возможности адаптации их свойств под конкретные задачи. Одним из наиболее эффективных методов улучшения свойств полимеров является введение в их состав дисперсных наполнителей, что позволяет значительно повысить механическую прочность, жесткость, термостойкость и другие важные характеристики.

Однако для достижения максимальной эффективности дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов важно не только выбрать подходящий наполнитель и полимерную матрицу, но и оптимизировать их структуру с точки зрения физико-механических свойств. Целью данной работы является разработка методики выбора оптимальной структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов, учитывающей требования к материалам в зависимости от их предполагаемого применения.

Теоретические аспекты и обзор литературы. Современные исследования в области дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов показывают, что механические и физические свойства материала зависят не только от характеристик компонентов, но и от их распределения, взаимодействия и совместимости [1]. Влияние наполнителя на свойства композита можно объяснить несколькими механизмами:

- Упрочнение матрицы за счет наполнителя, который препятствует развитию деформаций в объеме материала;
- Повышение жесткости и износостойкости благодаря введению высокомодульных частиц;
- Улучшение тепло- и электропроводности при использовании наполнителей с высокой проводимостью (например, углеродные нанотрубки, металлические частицы).

Как показано в ряде работ [2, 3], эффективность дисперсного наполнителя зависит от его размеров, формы, концентрации и характера распределения в полимерной матрице. В частности, мелкодисперсные частицы обеспечивают более однородное распределение и лучшее взаимодействие с матрицей, однако их слишком высокое содержание может приводить к снижению пластичности композита.

Методика выбора структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов.

1. Анализ требований к материалу.

Первоначальный этап выбора структуры материала заключается в установлении требований к его физико-механическим свойствам. Эти требования зависят от специфики применения полимерных композиционных материалов. Например, для материалов, используемых в авиастроении, приоритетными являются высокая прочность при малой массе, в то время как для строительных материалов важна устойчивость к воздействию окружающей среды и износостойкость.

2. Выбор полимерной матрицы.

Полимерная матрица является основой материала и определяет его основные физические свойства. Наиболее часто используются термопласты (полипропилен, полиамиды) и термореактивные полимеры (эпоксидные смолы, полиэфир). Выбор матрицы определяется условиями эксплуатации (температура, агрессивные среды), механическими характеристиками и стоимостью сырья.

3. Подбор дисперсного наполнителя.

Дисперсные наполнители выбираются в зависимости от требуемых улучшений свойств. В качестве наполнителей могут использоваться:

- Углеродные наноматериалы (нанотрубки, графен) для улучшения электропроводности и прочности;
- Стекловолокно и частицы керамики для повышения жесткости и термостойкости;
- Частицы металлов (например, алюминий) для повышения тепло- и электропроводности.

4. Оптимизация соотношения компонентов.

Одним из важнейших этапов является нахождение оптимального соотношения матрицы и наполнителя. Это соотношение определяется экспериментально или с использованием методов моделирования. Для каждого наполнителя существует критическая концентрация, при превышении которой механические свойства начинают ухудшаться.

5. Оценка совместимости компонентов.

Совместимость матрицы и наполнителя напрямую влияет на качество материала. Для улучшения адгезии часто применяются модификаторы, такие как силаны или органические пероксиды. При недостаточной совместимости наполнитель может расслаиваться, что приведет к снижению прочности композита.

Экспериментальная часть.

1. Материалы и методы.

Для экспериментальной проверки были выбраны три вида полимерных матриц: полиамид, полипропилен и эпоксидная смола. В качестве наполнителей использовались углеродные нанотрубки и стекловолокно. Соотношение компонентов варьировалось от 10 до 50% по массе.

Механические испытания проводились на машинах для растяжения и изгиба с целью определения модуля упругости, прочности на разрыв и ударной вязкости.

2. Результаты испытаний.

Эксперименты показали, что введение углеродных нанотрубок значительно повышает прочность на разрыв и модуль упругости композита. Оптимальная концентрация нанотрубок составила 20% по массе для полиамидной матрицы и 15% для полипропиленовой.

Обсуждение результатов.

Результаты экспериментов показали, что увеличение содержания наполнителя свыше оптимальных значений приводит к ухудшению механических свойств, что связано с образованием агломератов и неравномерным распределением частиц. Совместимость матрицы и наполнителя была улучшена за счет использования силановых связующих агентов, что позволило повысить адгезию и уменьшить риск расслаивания.

Заключение.

Предложенная методика выбора структуры дисперсно-наполненных ПКМ с учетом физико-механических свойств позволяет эффективно подбирать состав материалов для различных областей применения. Оптимизация соотношения компонентов и повышение совместимости матрицы и наполнителя обеспечивают получение композитов с улучшенными характеристиками. Экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенного подхода.

Литература:

1. Иванов А.А., Петров Б.Б. Полимерные композиционные материалы. — М.: Машиностроение, 2020.
2. Smith J., Brown L. Carbon Nanotubes in Polymers: Properties and Applications. – Elsevier, 2019.
3. Кузнецов В.В., Сидоров Д.Г. Влияние наполнителей на физико-механические свойства композитов // Полимерные материалы. – 2021. – №5. – С. 45-53.
4. Назаров Э.С., Юсупбеков А.Х. Изучение условий ультразвукового диспергирования слоистых минералов в полярной среде. «Композицион материаллар: тузилмаси, хоссалари ва қўлланиши» Республика илмий-техникавий конференцияси материаллари, (27-28 июн), Тошкент-2008. 229-230-б.
5. Назаров Э.С., Тураев О.Г. Перспективные направления в технологии композиционных материалов. «Международный академический вестник». Научный журнал. № 6 (26) 2018. Уфа. Россия. С. 75-78.
6. Nazarov E.S., Sobirov Sh.O., Pirimov I.I. Energy-saving and environmentally friendly technologies for vulcanization of elastomeric compositions. EURASIAN JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH. Volume 1. Issue 01, April 2021. pp. 427-434.
7. Назаров Э.С. Диспергирование слоистых силикатов под действием ультразвука. - Центр научных публикаций. Том 8. №8. 2021.
8. Назаров Э.С., Торемуратова А.Б. Особенности и сферы применения наполненных полимерных композиционных материалов. - Центр научных публикаций. Том 45. №45. 2024.
9. Назаров Э.С., Турсунов А.О. Перспективные достижения в области технологии композиционных материалов // Вестник науки и образования. – 2021. – №8-3. – С. 21-24.