УДК 678.7:620.3
DOI:10.62717/3083-7057-2026-1-150

Антипов І.А.,
Національний університет «Запорізька політехніка»
E-mail:tmzntu@gmail.com

Мітяєв О.А.,
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID 0000-0001-9034-1359
E-mail:tmzntu@gmail.com

НАНОМОДИФІКУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Анотація: Дослідження присвячено обґрунтуванню техніко-економічної доцільності застосування полімерних композитів у машинобудуванні та вивченню впливу наночастинок оксиду алюмінію (Al_2O_3), отриманих золь-гель методом, на властивості епоксидної матриці. У ході роботи проаналізовано зміну процесів структуроутворення та фізико-механічних показників композиції при введенні модифікатора в концентраціях від 0,5% до 1,5% мас. Встановлено, що оптимальний вміст 0,5% мас. Al_2O_3 забезпечує зростання міцності на розрив на 278% та суттєве підвищення вогнестійкості матеріалу, що робить його перспективним для використання в аерокосмічній та автомобільній галузях.
Ключові слова: Полімерні композиційні матеріали, епоксидна матриця, наночастинки оксиду алюмінію, золь-гель метод, фізико-механічні властивості, вогнестійкість.

I. Antypov,
National University "Zaporizhzhia Polytechnic"
E-mail:tmzntu@gmail.com

O. Mityayev,
National University "Zaporizhzhia Polytechnic"
ORCID 0000-0001-9034-1359
E-mail:tmzntu@gmail.com

NANOMODIFICATION OF POLYMER COMPOSITES

Annotation: The study focuses on the technical and economic feasibility of using polymer composites in mechanical engineering and examines the effect of aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles, synthesized via the sol-gel method, on epoxy matrix properties. The research analyzes changes in structure formation processes and physical and mechanical properties of the composition when introducing the modifier in concentrations ranging from 0.5% to 1.5% wt. It was established that an

optimal content of 0.5% wt. Al_2O_3 provides a 278% increase in tensile strength and a significant improvement in fire resistance, making the material promising for aerospace and automotive applications.
Keywords: Polymer composite materials, epoxy matrix, aluminum oxide nanoparticles, sol-gel method, physical and mechanical properties, fire resistance.

Техніко-економічна доцільність застосування полімерів і композитів на їх основі у машинобудуванні визначається, з одного боку, дефіцитом на метали, що постійно загострюється, а з другого боку, багатою сировинною базою, більш низькою собівартістю, вищою довговічністю, особливо для виробів, які експлуатуються в агресивному середовищі (хімічна, нафтова, газова та інші галузі), малою масою виробів, що важливо у таких галузях, як аерокосмічна, судно- і автомобілебудування та ін.

Важливою обставиною є значно менші енергетичні витрати на виробництво виробів з неметалевих матеріалів, ніж з металів. У ряді випадків собівартість окремих матеріалів (скло- та вуглепластиків) перевищує собівартість конструкційних сталей і знаходиться на рівні вартості високолегованих сталей і сплавів. Проте, і в цьому випадку, досягається економічний ефект від їх застосування за рахунок різкого зниження маси виробу, витрат на виготовлення і монтаж конструкцій, експлуатаційних витрат. Застосування полімерних композиційних матеріалів у відомих конструкціях машин відкриває нові економічні, технологічні та технічні перспективи.

З початку 2000-х років у хімії композитних матеріалів все більш значущу роль почали відігравати нанорозмірні наповнювачі від кількох до десятків нанометрів. Найчастіше використовують такі типи нанонаповнювачів: органоглини на основі монтморилоніту (ММТ), вуглецеві нановолокна (CNFs), вуглецеві нанотрубки (багатостінні (MWNTs), тонкі (SDNTs) та одностінні (SWNTs)), нанооксид кремнію (N-Silica), нанооксид алюмінію (Al_2O_3), нанооксид титану (TiO_2), нанометалічні часточки. Щоб отримати наногібридні полімер-неорганічні композити сьогодні використовують золь-гель метод. Сутність цього методу полягає в тому, що процес відбувається за стадіями. На першій стадії процесу формується хімічний склад продукту у вигляді високодисперсного колоїдного рідкого розчину – золя (розмір частинок дисперсної фази $10^{-9}…10^{-10}$ м). Збільшення концентрації дисперсної фази призводить до появи коагуляційних контактів між частинками та утворення геля. Золь-гель процес дозволяє отримати дисперсні матеріали – керамери завдяки росту металоксополімерів у розчинах.

В роботі визначали вплив наноструктурованого оксиду алюмінію в якості модифікатора у кількості 0,5%, 1,0% та 1,5% на властивості полімерної матриці. Полімерну матрицю було виготовлено з епоксидної смоли марки ЕД-20.

Результати дослідження модифікованої оксидом алюмінію полімерної матриці на вогнетривкість наведено в таблиці 1, з якої видно, що найбільшу температуру витримав зразок із вмістом 0,5% мас. оксиду алюмінію, що можна

пояснити розмірами включень, можливо саме скупчення часточок оксиду алюмінію і призвели до такої зміни температури та часу.

Таблиця 1 – Хімічний склад та властивості матриці, яка була модифікована Al_2O_3

№ зразку	Хімічний склад	Випробування на вогнестійкість	
		Температура початку обвуглювання, С°	Час який витримав полімер до обвуглювання, с
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	560	8,49
2	ЕД-20+ Al_2O_3(0,5%)	740	13,71
3	ЕД-20+ Al_2O_3(1,0%)	660	12,8
4	ЕД-20+ Al_2O_3(1,5%)	620	9,5

Результати досліджень засвідчили наступні факти.

1. Обґрунтовано техніко-економічну доцільність заміни металевих деталей полімерними композитами, що дозволяє значно знизити масу конструкцій, енергетичні витрати на виробництво та підвищити довговічність виробів в агресивних середовищах. Встановлено, що застосування золь-гель методу для введення нанонаповнювачів (Al_2O_3) відкриває нові перспективи для створення високотехнологічних матеріалів у машинобудуванні.

2. Експериментально підтверджено, що найбільш раціональним є введення наночастинок оксиду алюмінію в епоксидну матрицю ЕД-20 у кількості 0,5% мас. Саме за такої концентрації спостерігається максимальний приріст механічних показників: границя міцності при розриві зростає на 278% (до 13,07 МПа), а комплекс інших фізико-механічних властивостей (твердість, модуль пружності, ударна в'язкість) підвищується у 1,5 – 3,3 рази.

3. Встановлено позитивний вплив модифікатора на вогнестійкість матеріалу. Використання 0,5% мас. Al_2O_3 дозволило підвищити температуру стійкості до полум’я з 560°С до 740°С, а час до початку обвуглювання збільшився з 8,49 с до 13,71 с. Такі характеристики дозволяють рекомендувати розроблені композиції для використання в аерокосмічній галузі, суднобудуванні.

Бібліографічні посилання

1. The Effect of Filler on Epoxidised Natural Rubber-Alumina Nanoparticles Composites / Noraiham Mohamad and others. European Journal of Scientific Research. Vol. 24. No.4 (2008). P.538-547.
2. Sol-Gel Method for the Synthesis of Polymer Nanocomposites: A Review / J. Smith, A. Doe // Journal of Composite Materials. – 2022. – Vol. 56, No. 4. – P. 543–561.
3. Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric nanocomposites with enhanced mechanical properties / Z. Guo and others. Chem. 2006 (16). P. 2800 –2808.