

УДК 678.01:539.2

Підковинська У. В. аспірантка кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: uliana.pidkovynska@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2953-1863

Савченко В. О. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: savchen2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4305-0097

ВПЛИВ НАПОВНЮВАЧІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

Мета роботи. Підвищення механічних властивостей полімерної матриці шляхом додавання в неї дрібнодисперсних наповнювачів оксиду алюмінію та тальку, які можуть бути модифікаторами.

Методи дослідження. Було проведено дослідження зразків з полімеру на розтяг за ДСТУ EN ISO 527-5:2018. Випробування проводили на розривній машині УРМ-5 з максимальним зусиллям 50 кН. Металографічний аналіз проводили на мікроскопі KEYENCE VHX при збільшеннях 50 та 500. Мікроструктуру полімерної матриці визначали шліфах без травлення.

Отримані результати. Показано що введення дрібнодисперсних частинок оксиду алюмінію збільшило показник міцності з 4,69 МПа до 13,07 МПа, порівняно зі зразком без наповнювачів. Також було досліджено, що введення дрібнодисперсних частинок тальку в кількості 0,75 % мас. призвело до збільшення показників міцності з 4,69 МПа до 12,74 МПа, в порівнянні зі зразком без наповнювачів.

Наукова новизна. Отримано полімерну матрицю з підвищеними механічними властивостями за допомогою додавання наповнювачів, як модифікаторів. Знайдено оптимальний варіант концентрації добавок оксиду алюмінію та тальку. Порівнюючи результати з попередніми дослідженнями, де використовувались оксид алюмінію та тальк у різних концентраціях з різними типами полімерних матриць, можна визначити, що досліджені концентрації модифікаторів з епоксидною смолою ЕД-20 привели до отримання полімерного композита з більшими механічними характеристиками. Отримані результати свідчать про значний потенціал оксиду алюмінію та тальку як ефективних модифікаторів для покращення міцності та інших важливих властивостей композитних матеріалів.

Практична цінність. Отримані результати вказують на великий потенціал використання оксиду алюмінію та тальку в якості модифікаторів для полімерних матриць з метою покращення їхніх механічних характеристик. У практичному плані, використання цих наповнювачів може мати значний вплив на розробку нових композитних матеріалів з покращеними властивостями, що може знайти застосування у виробництві композитної арматури. Враховуючи підвищену міцність та стійкість отриманих матеріалів, ці композити можуть бути ефективно використані для створення легших та міцніших конструкцій у будівництві та інших сферах. Також, їхнє використання може призвести до зменшення витрат на ремонт та обслуговування завдяки підвищеній довговічності та стійкості до механічних навантажень. Таким чином, впровадження отриманих результатів може мати вагомий вплив на практику виготовлення композитних матеріалів та забезпечити створення продуктів з покращеними характеристиками для різноманітних застосувань.

Ключові слова: композит, полімерна матриця, наповнювачі, модифікування, композитна арматура, епоксидна смола.

Вступ

У сучасному матеріалознавстві великою перспективою визначається аспект дослідження полімерних композитів. Ці матеріали належать до найрізноманітніших та численних груп матеріалів і визначають собою ключову роль в галузях будівництва, авіації та машинобудування. Також останнім часом великим попитом користується композитна (склопластикові) арматура, яка відноситься до сучасних будівельних матеріалів, використання яких призводить до зменшення економічних витрат на будівництво об'єктів та зменшення ваги об'єктів. Завдяки цим особливостям склопластикової арматури сучасні будівельні компанії все більш

ефективно її використовують в якості армуючого матеріалу як у вигляді арматури так і у вигляді армуючих сіток. Одна з головних переваг полімерної арматури є висока питома міцність, що призводить до зменшення поперечних перетинів арматури при розрахунках міцності конструкції. Також, важливим фактором є те, що композитна полімерна арматура має досить високі показники пружності, що призводить до зменшення витрат на транспортування, так як вона легко згортається в бухти. Але вона також має ряд недоліків, а саме не стійка до впливу високих температур, має низькі модуль пружності та пластичність. Модуль пружності композитної арматури менший за модуль пружності

сталевій арматурі в 4 рази. Тому підвищення механічних властивостей полімерної композитної арматури є досить актуальною матеріалознавчою проблемою. Також дуже важливою задачею є вивчення впливу різноманітних модифікувальних компонентів на вихідні властивості полімеру [1, 2].

Аналіз досліджень та публікацій

Номенклатура полімерних матеріалів, які виробляються промисловістю України є не достатньо широкою, а потреби будівництва, машино- та авіабудування в цих матеріалах зростають постійно [3]. Тому основним завданням на сьогоднішній день є покращення властивостей полімерних матеріалів за рахунок додавання в них добавок або модифікування. Одним із методів, які досить широко використовуються для змінення властивостей полімерів є модифікування. Модифікування полімерів можна поділити на два основних типи – хімічне та структуроване. Хімічне модифікування полімерів, за рахунок взаємодії макромолекул полімеру з низько- або високомолекулярними речовинами – модифікаторами, призводить до направлено змінення механічних або експлуатаційних властивостей полімеру. В якості модифікаторів зазвичай використовують вже синтезовані макромолекули різноманітних речовин [2].

До реакцій хімічного модифікування полімерів можна віднести [4]:

1) реакції, в результаті яких не відбувається зміна ступеня полімеризації макромолекул полімеру, тобто реакції які відповідають за перетворення та процеси всередині молекул;

2) реакції, в результаті яких відбувається збільшення ступеня полімеризації;

3) реакції, в результаті яких відбувається зменшення ступеня полімеризації.

Структурна (фізична) модифікація полімерів представляє собою процес, який призводить до спрямованої зміни фізико-механічних властивостей полімерів за рахунок модифікування їх надмолекулярної структури, які відбувається під впливом фізичних факторів. При такому виді модифікування полімерів не відбувається змінення хімічної будови макромолекул [2, 5].

У дослідженні [6] наведено аналіз впливу оксиду алюмінію на механічні характеристики епоксидної матриці. Зазначено, що введення оксиду алюмінію у концентрації до 60 % призвело до подвійного зростання модуля пружності при розтягуванні. Тим не менше, це вплинуло на зниження границі міцності композиту при розтягуванні з 20,9 МПа до 14,8 МПа, а також зменшило відносне видовження з 62,5 % до 49,5 %.

У цьому контексті, важливо враховувати компроміс між збільшенням модуля пружності та зниженням межі міцності, оскільки ці параметри взаємодіють у складний спосіб. Зменшення границі міцності може бути результатом високої концентрації оксиду алюмінію, що впливає на загальну витривалість композиту. Дослідження такого роду відкриває нові можливості

для оптимізації складу композитних матеріалів та вдосконалення їхніх механічних характеристик.

У дослідженні [7] зафіксовано значуще підвищення модуля пружності при розтягуванні до 1,5 разу при введенні до 15 % оксиду алюмінію у склад епоксидної матриці. Однак це вплинуло на зменшення границі міцності на 10 МПа та відносного видовження на 8 %. Автори вважають, що такі зміни механічних характеристик можуть бути пов'язані як із агломерацією наповнювача, так із слабкою взаємодією між його поверхнею та матричним матеріалом. Це відкриває можливість для подальших досліджень та оптимізації складу композитів для досягнення кращих механічних характеристик.

Результати дослідження [8] підкреслюють, що розмір частинок тальку відзначається впливом на реологічні та на фізико-механічні властивості композитів. Зменшення діаметра частинок тальку призводить до підвищення показників міцності, теплостійкості та стійкості до ударних навантажень полімерів. Отже можна висунути припущення, що отримані результати свідчать про наявність ефективного механічного зв'язку між тальком і полімером. Додавання тальку в полімер розширює можливості застосування полімерного матеріалу, і оптимальним розміром часточок тальку можна вважати на рівні 5 мікрон при концентрації 10...20 мас.%. Високі значення фізико-механічних властивостей полімерних композитів можна пояснити високим рівнем міжфазної адгезії між компонентами, що може сприяти розвитку перспективних напрямів їх використання.

У роботі [9] вивчено вплив тальку на структуру та властивості поліетилену високого тиску. За результатами рентгеноструктурного аналізу виявлено, що введення тальку в полімерну матрицю супроводжується збільшенням частки кристалічної фази та зростанням середнього розміру кристалітів полімеру. Додаткові дослідження, проведені методами термостимульованої деполіаризації та ізотермічної релаксації потенціалу, вказують на підвищену стабільність скелетного стану полімеру. Це може бути пояснено змінами у структурі полімеру, формуванням нових електрично активних дефектів і зменшенням провідності полімеру при введенні тальку в матрицю. Такі висновки відкривають нові перспективи для розуміння взаємодії тальку з поліетиленом та можливого використання цього композиту в практичних застосуваннях.

Мета роботи

Перегляд літературних даних розкриває, що використання епоксидних смол для полімерних матриць є вельми актуальним та поширеним напрямом в області полімерних матеріалів. Для досягнення високого рівня їх механічних та експлуатаційних характеристик особлива увага повинна бути приділена дисперсійно-зміцненим полімерним композитам, які включають частинки тальку та оксиду алюмінію.

У цьому контексті, головною метою роботи є вивчення впливу добавок дрібнодисперсних часточок тальку та оксиду алюмінію в якості модифікаторів на

властивості полімерної матриці із епоксидної смоли. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести аналіз впливу вибраних концентрацій модифікаторів на характеристики полімерної матриці;
- визначити оптимальне співвідношення модифікаторів для досягнення високого рівня показників міцності полімерних матриць;
- здійснити оцінку впливу модифікації на вогнестійкість, що є ключовою характеристикою для полімерних матриць у композиційних матеріалах.

Ця робота пропонує дослідити внутрішній внесок у розуміння взаємодії модифікаторів з епоксидною смолою та сприяти оптимізації властивостей полімерних матриць для покращення їхнього використання в практиці.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом нашого дослідження є процес удосконалення композитної полімерної матриці для підвищення її механічних властивостей. У цьому експерименті для створення матриці було використано епоксидну смолу ЕД-20. З метою модифікації полімерної матриці, що ґрунтується на епоксидному зв'язку, було вибрано дрібнодисперсний порошок оксиду алюмінію (Al_2O_3) та тальку ($4SiO_2 \cdot 3MgO \cdot H_2O$).

Оксид алюмінію (алюміна) є найбільш часто використовуваним керамічним матеріалом серед оксидів, і його застосування вкрай різноманітне. Висока чистота зерна гарантує мінімальні хімічні реакції (зазвичай саме домішки в зернах реагують з забрудненнями печі та знижують робочу температуру кінцевого продукту). Оксид алюмінію – це надзвичайно міцний матеріал з високою твердістю, великою стійкістю до зносу і високою міцністю при стисканні. Він дуже стійкий до термічного шоку та хімічного впливу навіть при підвищених температурах. Виробництво оксиду алюмінію полягає переробленні руди бокситів, що містить максимум 55 % алюмінію, в гарячому розчині гідроксиду натрію. При температурі приблизно 175 °C алюміній розчиняється та утворює солі алюмінату натрію. Високочистий оксид алюмінію фільтрується з сполуки, а отриманому розчину надається температурний режим для охолодження. Під час охолодження розчин стає насичений екстремально дрібнозернистими кристалами гідроксиду алюмінію ($Al(OH)_3$). Ці кристали переносяться до печі для кальцинації при температурах близьких до 1260 °C, що дає порошок оксиду алюмінію. Виняткова хімічна стійкість чистого оксиду алюмінію робить його ідеальним для застосування як в окислюючих, так і в редуційних атмосферах, забезпечуючи йому ключову позицію для багатьох точок контакту в промисловій нафтохімії [10].

Тальк – це гідратований магнієвий силікат з хімічним складом ($4SiO_2 \cdot 3MgO \cdot H_2O$). Це найм'якший відомий мінерал, який має твердість 1 за шкалою твердості Мооса. Тальк дуже ламелярний, гідрофобний та хімічно інертний. Він без запаху, нерозчинний у воді та у слабких кислотах і лугах, але трошки розчинний у

розведених мінеральних кислотах. Його колір може варіювати від білого до сірого або зеленого, насипна щільність від 0,55 до 1,75 г/см³. Частинки мають сферичну форму. Середній діаметр часточок (D_{50}) 4,7 мкм [11].

Дослідження проводили відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 527-5:2018 «Пластмаси», яке включало розтягування зразків полімерно-композитних матеріалів з постійною швидкістю до моменту розриву. Міцність на розрив визначали при кімнатній температурі. Для дослідження впливу модифікації на структуру та властивості полімерної матриці виготовляли дослідні зразки, кількість яких не менше 5 на кожен номер зразка. Зразки були без накладок та маркувалися з обох боків номером партії та порядковим номером в партії на тій частині зразка за яку відбувалося захоплення. Це дозволило провести ідентифікацію зразків під час випробувань. Кожна партія матеріалу для випробувань включала по п'ять зразків для кожного режиму дослідження властивостей. Перед проведенням випробувань проводилися вимірювання розмірів робочої частини зразків. До протоколу випробувань заносилися значення площі поперечного перерізу зразка. [12]. Дрібнодисперсні часточки модифікатора вводилися безпосередньо в епоксидну смолу, після чого компоненти перемішувалися протягом 10 хвилин і лише після цього вводився отверджувач з наступним перемішуванням компонентів протягом ще 5 хвилин. Наступним етапом було витримання отриманої речовини на вібраційному столі протягом 10 хвилин. Потім полімерний матеріал знаходився у формі при кімнатній температурі до завершення процесу склування. Після цього відбувалося дослідження властивостей композитної полімерної матриці та виготовлялися мікрошліфи [8, 13].

Результати досліджень

Дослідження міцності полімерних композицій вказало, що зі збільшенням масового вмісту частинок модифікатора зростає міцність композиції. Додавання сферичних частинок Al_2O_3 у кількості 0,5 % мас. призвело до збільшення границі міцності при розриві композиції до 13,07 МПа. Результати дослідження впливу оксиду алюмінію на вогнестійкість показали, що зразок із вмістом 0,5 % мас. оксиду алюмінію витримав високу температуру, можливо, через розміри включень або скупчення часточок оксиду алюмінію, що призвело до таких змін. Дослідження мікроструктури полімерної матриці, модифікованої оксидом алюмінію, свідчить про тенденцію до зменшення пористості матеріалу із зростанням вмісту Al_2O_3 , що відзначається в порівнянні із немодифікованою полімерною матрицею. Для зразків із вмістом 0,5 % оксиду алюмінію виявлено високу тенденцію до агломерації часточок модифікатора. Це явище можна пояснити наступним, що для більш якісного деагломерування часточок оксиду алюмінію, при його обмеженому об'ємному вмісті, необхідно більше часу приділяти вібраційному змішуванню або додатково вводити в розчин поверхнево активні

речовини (див. рис. 1). Дослідження ефекту модифікації полімеру тальковими частинками варіювалося в межах 0,75–2,0 % та від 12,5–20,0 % масової частки. При аналізі вмісту тальку від 0,75 % до 2,0 % зафіксовано підвищення границі міцності композиту до 12,74 МПа, але спостерігається значна крихкість в порівнянні з немодифікованим зразком.

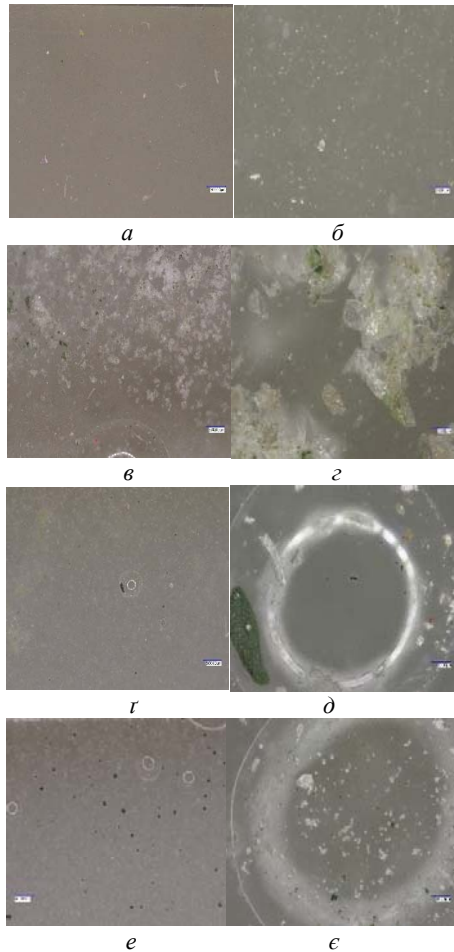


Рисунок 1. Мікроструктура дослідних зразків полімерної матриці з Al_2O_3 :

a – ЕД-20 (вихідний зразок) $\times 50$; *б* – ЕД-20 (вихідний зразок) $\times 500$; *в* – ЕД-20+ Al_2O_3 (0,5 %) $\times 50$; *г* – ЕД-20+ Al_2O_3 (0,5 %) $\times 500$; *р* – ЕД-20+ Al_2O_3 (1,0 %) $\times 50$; *д* – ЕД-20+ Al_2O_3 (1,0 %) $\times 500$; *е* – ЕД-20+ Al_2O_3 (1,5 %) $\times 50$; *є* – ЕД-20+ Al_2O_3 (1,5 %) $\times 500$

Вміст тальку на рівнях 1,0 % та 1,5 % викликав активне вспінання полімерного зразка, що може пояснюватися роллю тальку як нуклеатора. При збільшенні вмісту тальку від 12,5 % до 20,0 % у складі полімерної матриці відбувається практично лінійний процес зменшення показників міцності при розтягуванні.

Це можна пояснити тим, що полімерна матриця при розтягуванні стає більш чутливою до впливу мінеральних наповнювачів, що можуть служити центрами утворення дефектів під час механічного впливу. Таким чином, міцність в таких композитах зменшується порівняно з немодифікованим зразком [14].

Аналіз мікроструктури полімерного матеріалу, підданого модифікації оксидом тальку, вказує на системний ефект при вмісті тальку вище 12 %. На цьому етапі спостерігається одночасне зменшення розміру пор, але збільшення їх кількості, що призводить до дезінтеграції структури та погіршення механічних властивостей матеріалу (рис. 2) [13, 15].

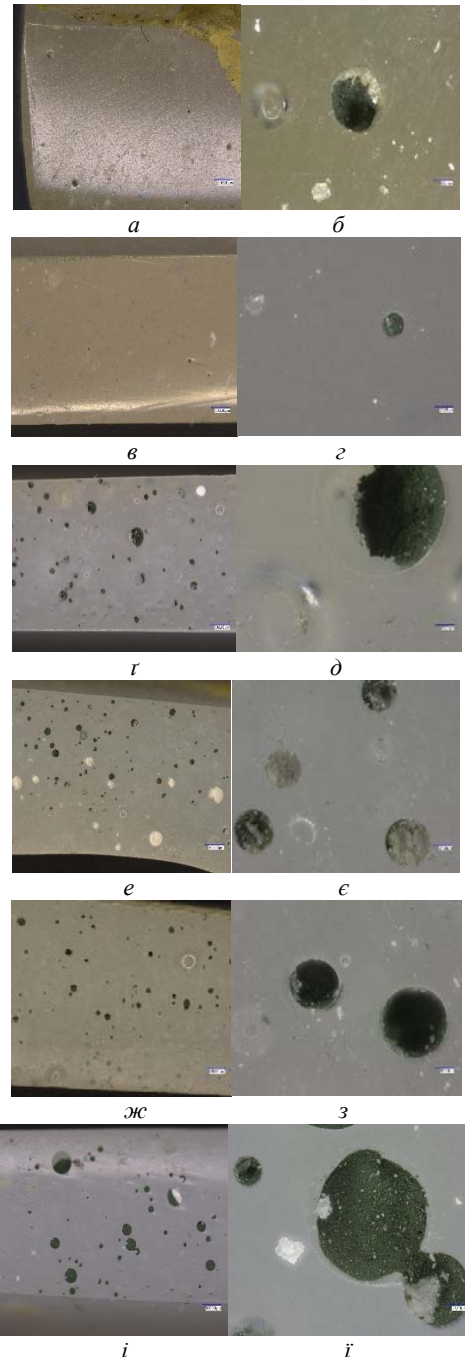


Рисунок 2. Мікроструктура дослідних зразків полімерної матриці з тальком:

a – ЕД-20+ Тальк(0,75 %) $\times 50$; *б* – ЕД-20 + Тальк (0,75 %) $\times 500$; *в* – ЕД-20+ Тальк(2,0 %) $\times 50$; *г* – ЕД-20+ Тальк(2,0 %) $\times 500$; *р* – ЕД-20+ Тальк(12,5 %) $\times 50$; *д* – ЕД-20 + Тальк (12,5 %) $\times 500$; *е* – ЕД-20+ Тальк (15,0 %) $\times 50$; *є* – ЕД-20+ Тальк (15,0 %) $\times 500$; *ж* – ЕД-20+ Тальк(17,5 %) $\times 50$; *з* – ЕД-20 + Тальк (17,5 %) $\times 500$; *і* – ЕД-20+ Тальк (20,0 %) $\times 50$; *ї* – ЕД-20+ Тальк (20,0 %) $\times 500$

Висновки

Дослідження виявило, що додавання лише 0,5 % мас. оксиду алюмінію до полімерної матриці призвело до значущого збільшення границі міцності до 13,07 МПа, порівняно із не модифікованим зразком, у якого цей показник складав 4,69 МПа. У той же час введення тальку у концентрації 1,0 % та 1,5% викликало термічну реакцію та вспінання композиту, що підкреслює важливість точного дозування компонентів при модифікації.

Дослідження мікроструктури модифікованої оксидом алюмінію полімерної матриці виявило важливі залежності між вмістом модифікатора та властивостями матеріалу. Зменшення пористості при збільшенні вмісту Al_2O_3 свідчить про ефективність модифікації. Особливу увагу слід приділити процесам агломерації при невеликих концентраціях модифікатора, що може впливати на однорідність матеріалу. Зростання міцності при розриві та підвищення вогнестійкості при додаванні оксиду алюмінію свідчать про позитивний внесок модифікатора у полімерні композити. Загальною тенденцією досліджень є те, що введення тальку у полімерну матрицю суттєво впливає на її механічні та вогнетривкі властивості. У деяких межах концентрації тальку спостерігається підвищення межі міцності композиту, але разом із цим збільшується крихкість, особливо при високих вмістах тальку.

Ці результати вказують на потужний вплив модифікації на механічні властивості полімерів, зокрема на їхню границю міцності, роблячи їх конкурентоспроможними в ряді застосувань. Такий підхід може знайти своє застосування в промислових галузях, де вимоги до міцності матеріалів високі, таких як авіаційний та автомобільний сектори. Отже, результати цього дослідження стверджують високий потенціал для подальших досліджень та реалізації виробництва покращених композитів.

Список літератури

1. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних науки / М. І. Сурмай – Львів : «Національний університет Львівська Політехніка», 2015. – 185 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://lpnu.ua/spetsrady/d-3505217/surmaymykhailo-igorovych>
2. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів / Суберляк О.В., Баштанник П.І. – Київ.:2006. -270 с.
3. Композиційні матеріали в авіабудуванні (огляд) / С. Б. Беліков, І. П. Волчок, О. А. Мітяєв та ін. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2017. – № 2. – С. 32–40.
4. Мельник Л. І. Хімія і фізика полімерів : навч. посібн. / Мельник Л. І. – К.: НТУУ «КПІ», 2016.–161 с.
5. Вплив природи наповнювача на хімічну стійкість і мікротвердість плівок наповнених епоксидних композитів / Г. Мартинюк, В. Закодонський, Н. Скорецько, О. Аксіментьєва // Фізика і хімія твердого тіла. – 2015. – Т. 16. – № 3. – С. 528–533 DOI: 10.15330/pcss.16.3.528-533
6. Noraiham Mohamad, Andanastuti Muchtar, Mariyam Jameelah, Ghazali Dahlan, Hj. Mohd, Che Husna Azhari. The Effect of Filler on Epoxidised Natural Rubber/Alumina Nanoparticles Composites. European Journal of Scientific Research. – 2008. – Vol. 24. – No.4 – P. 538–547
7. S. H. Limetal. Materials Science and Engineering / S. H. Limetal. – 2010. –A . 527. – P. 5670–5676
8. Влияние размера частиц талька на межфазные взаимодействия композиционных материалов на основе полипропилена / Тураев Э. Р., Ахмедов У. К., Джалилов А. Т., Бекназаров Х. С. // Universum : Химия и биология : электрон. научн. журн. – 2018. – № 12(54).
9. Калычнев Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов. – Л. : Химия, 1983. – 287 с.
10. Офіційний сайт “PERFORMANCE CERAMICS & REFRACTORIES” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.ceramicsrefractories.saint-gobain.com/news-articles/aluminum-oxide-what-it-where-its-used>
11. Офіційний сайт “Surechemical” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.surechemical.com/PersonalCare-Ingredients/TALC-POWDER.html>
12. ДСТУ EN ISO 527-5:2018 Пластмаси. Визначення властивостей під час розтягування. Частина 5. Умови випробування однонапрямованих волокнистих пластмасових композитів: чинний з 2020-01-01. – К : Технічний комітет стандартизації «Каучуки, гуми та гумові вироби» (ТК 128)ю – 2020. ISO 527-5:2009, IDT.
13. Підковинська У. В. Дослідження впливу модифікування на міцність композитної полімерної матриці: магістерська робота / У. В. Підковинська. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 95 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/5324>
14. Застосування тальку в модифікованих пластмасах [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.pvcadditives.net/info/application-of-talc-powder-in-modified-plastic-79931484.html>
15. Пружно-деформаційні властивості полілактидних композитів з дрібнодисперсними наповнювачами / Куліш Б. І., Катрук Д. С., Масюк А. С. та ін. // Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології: матеріали І Міжнародної наукової конференції (Луцьк, 12–14 травня 2021 року). Луцьк, 2021. – С. 57–58.

Одержано 27.02.2024

INFLUENCE OF FILLERS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF POLYMER MATRIX

- Pidkovynska U. Postgraduate student of the of the Department of Composite Materials, Chemistry and Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: uliana.pidkovynska@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2953-1863
- Savchenko V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Composite Materials, Chemistry and Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: savchen2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4305-0097

Purpose. Enhancement of the mechanical properties of the polymer matrix through the incorporation of finely dispersed fillers, namely aluminum oxide and talc, as potential modifiers.

Research methods. Research was conducted on polymer specimens subjected to tensile testing according to DSTU EN ISO 527-5:2018. The tests were performed using a URM-5 tensile testing machine with a maximum force of 50 kN. Metallographic analysis was carried out using a KEYENCE VHX microscope at magnifications of 50 and 500. The microstructure of the polymer matrix was assessed through etching-free procedures.

Results. The study demonstrates that the incorporation of finely dispersed aluminum oxide particles increased the strength parameter from 4.69 MPa to 13.07 MPa, as compared to the unfilled sample. Additionally, it was observed that the introduction of finely dispersed talc particles at a concentration of 0.75 % by mass led to an enhancement in strength values from 4.69 MPa to 12.74 MPa, in comparison to the unfilled sample.

Scientific novelty. A polymer matrix with enhanced mechanical properties was achieved through the addition of fillers acting as modifiers. The optimal concentration of aluminum oxide and talc additives was determined. By comparing the results with previous studies involving aluminum oxide and talc at various concentrations in different types of polymer matrices, it can be concluded that the investigated concentrations of modifiers with epoxy resin ED-20 led to the production of a polymer composite with superior mechanical characteristics. The obtained results underscore the significant potential of aluminum oxide and talc as effective modifiers for improving the strength and other crucial properties of composite materials.

Practical value. The obtained results highlight the significant potential of utilizing aluminum oxide and talc as modifiers for polymer matrices to enhance their mechanical characteristics. From a practical standpoint, the use of these fillers can exert a substantial impact on the development of new composite materials with improved properties, finding application in composite reinforcement production. Considering the heightened strength and resilience of the resulting materials, these composites can be effectively employed to create lighter and stronger structures in construction and other industries. Additionally, their application may lead to reduced repair and maintenance costs due to increased durability and resistance to mechanical loads. Thus, the implementation of the obtained results could have a substantial influence on the practice of composite material manufacturing, ensuring the creation of products with enhanced characteristics for various applications.

Key words: composite, polymer matrix, fillers, modification, composite reinforcement, epoxy resin.

References

1. Surmai, M. I. (2015). Mitsnist ta deformatyvnist doshchatokleynikh balok armovanykh skloplastykovoyu ta bazaltovoyu armaturoyu [Strength and deformability of laminated veneer lumber beams reinforced with glass fiber and basalt fiber reinforcement]. National University Lviv Polytechnic. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences.
2. Suberliak O. V., Bashtannik P. I. (2006). Tekhnologiya pererobky polimernykh ta kompozytsiynykh materialiv. [Technology of processing polymer and composite materials]. Kyiv, 270.
3. S. B. Belikov, I. P. Volchok, O. A. Mitiaiev, V. M. Pleskach, V. O. Savchenko (2017). Kompozytsiyni materialy v aviabuduvanni. [Composite materials in aviation] (overview). New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering, 2, 32–40.
4. Melnyk L. I. (2016). Chemistry and Physics of Polymers: Educational manual. Kyiv: NTUU "KPI", 161.
5. H. Martiniuk, V. Zakodonskyi, N. Skoreiko, O. Aksimentieva (2015). Vplyv pryrody napovnyuvacha na khimichnu stiikest' i mikrotverdist' plivok napovnenykh epoksydnykh kompozytiv. [Influence of filler nature on chemical resistance and microhardness of films filled with epoxy composites]. Physics and Chemistry of Solid State, 16, 3, 528–533. DOI: 10.15330/pcss.16.3.528–533
6. Noraiham Mohamad, Andanastuti Muchtar, Mariyam Jameelah, Ghazali Dahlan, Hj. Mohd, Che Husna Azhari (2008) "The Effect of Filler on Epoxidized Natural Rubber-Alumina Nanoparticles Composites." European Journal of Scientific Research, 24, No. 4, pp. 538-547.
7. S.H. Lim et al. (2010). Materials Science and Engineering A, 527, pp. 5670–5676.

8. Vliyaniye razmera chastits tal'ka na mezhfaz-nye vzaimodeystviya kompozitsionnykh materialov na osnove polipropilena. [Influence of talc particle size on interphase interactions of composite materials based on polypropylene]. *Universum: Chemistry and Biology*, 2018, 12(54).
9. Kalynchev E. L., Sakovtseva M. B. (1983). "Properties and Processing of Thermoplastics". Leningrad: Khimiya, 287.
10. Official website "Performance ceramics & refractories". Available at: <https://www.ceramicsrefractories.saint-gobain.com/news-articles/aluminum-oxide-what-it-where-its-used>
11. Official website "Surechemical". Available at: <https://www.surechemical.com/PersonalCare-Ingredients/TALC-POWDER.html>
12. State Standard of Ukraine DSTU EN ISO 527-5:2018 "Plastics. Determination of tensile properties. Part 5. Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites". Effective from 2020-01-01. Kyiv: Technical Committee for Standardization "Rubbers, rubber and plastic products" (TC 128) 2020. ISO 527-5:2009, IDT.
13. Pidkovinska U.V. (2019). Doslidzhennya vplyvu modifikatsiyi na mitsnist kompozytnoi polimernoyi matrytsi. [Investigation of the influence of modification on the strength of composite polymer matrix]. Master's thesis, Zaporizhzhia: Zaporizhzhia Polytechnic National University. Available at: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/5324>
14. Zastosuvannya talku v modifikovanykh plastmasakh. [Application of talc in modified plastics]. Available at: <https://ua.pvcadditives.net/info/application-of-talc-powder-in-modified-plastic-79931484.html>
15. Kulish B.I., Katruk D.S., Masiuk A.S., Kysil Kh.V., Levitskyi V.Ye. (2021). Pruzhno-deformatsiyni vlastyvosti polilaktydnykh kompozytiv z dribnodispersnymy napovnyuvachamy. Aktualni problemy khimiyi, materialoznavstva ta ekolohiyi. [Elastic-deformation properties of polylactic acid composites with fine-dispersed fillers]. *Actual Problems of Chemistry, Materials Science and Ecology: Proceedings of the 1st International Scientific Conference (Lutsk, May 12-14, 2021)*, 57–58.