

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Кечура Дмитра Ігоровича на тему:

«Основи технологій одержання полілактидних композитів і виробів з них 3Д друком», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія

Актуальність проведених досліджень дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота вирішує важливе науково-технічне завдання, яке пов'язане з підвищенням ефективності використання біорозкладних полімерів в адитивному виробництві за допомогою їх фізико-хімічної та структурної модифікації. Запропоновані підходи мають прикладне значення для створення нових матеріалів із регульованими властивостями.

Інтенсивний розвиток технологій тривимірного друку, особливо методу пошарового наплавлення FDM, зумовлює потребу в новому поколінні полімерних матеріалів, здатних не лише адаптуватися до особливостей процесу пошарового формування виробу, а й гарантувати надійність, точність і функціональність кінцевих виробів. Також застосування 3Д друку в промисловості, медицині та прототипуванні супроводжується зростанням запиту на матеріали з прогнозованими механічними властивостями, мінімальними залишковими дефектами та стабільною поведінкою в умовах експлуатаційного навантаження.

Серед найбільш поширених термопластів для адитивного виробництва є полілактид (ПЛА), який завдяки своїй екологічності, простоті переробки, адгезійним властивостям і низькій усадці вважається базовим матеріалом у FDM-друці. Однак деякі фактори обмежують його прикладне використання, тому постає необхідність у комплексній зміні його властивостей.

Одним із перспективних напрямів модифікації ПЛА є використання біосумісних наповнювачів природного походження.

Для вдосконалення властивостей ПЛА перспективними є біосумісні наповнювачі природного походження, зокрема крохмаль – доступний, недорогий

і здатний впливати як на жорсткість та деградацію ПЛА, так і на його взаємодію з іншими компонентами в композиті. Така модифікація дозволяє не лише покращити технологічні характеристики матеріалу, а й підвищити його екологічну привабливість, що є особливо актуальним у контексті переходу до сталих виробничих практик.

Проте навіть удосконалені термопластичні композити не повною мірою усувають конструктивні недоліки виробів, сформованих методом FDM, зокрема пористість та недостатню міжшарову адгезію. Це відкриває перспективу гібридного підходу, що передбачає поєднання ПЛА-основи з подальшим інфільтруванням термореактивними смолами, які здатні зміцнити структуру, покращити передачу навантажень і зменшити кількість внутрішніх дефектів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри хімічної технології переробки пластмас Інституту хімії та хімічних технологій Національного університету «Львівська політехніка», де виконувалась робота: «Теоретичні і прикладні аспекти одержання, модифікування, суміщення і переробки, полімерних (нано)композитів; розроблення технологій одержання виробів зі спеціальними властивостями». Робота виконувалась у рамках тем прикладного наукового дослідження кафедри (№: 0122U000953) та прикладного наукового дослідження молодих вчених (№ 0124U000827).

Наукова новизна основних результатів дисертації. У даній дисертаційній роботі вперше:

- Розроблено та науково обґрунтовано підходи до фізичної модифікації полілактиду з використанням біосумісних добавок природного походження, що дозволяє підвищити його технологічну придатність для FDM-друку.

- Встановлено доцільність попереднього суміщення крохмалю з епоксидованою соєвою олією (ЕСО), що забезпечує підвищену однорідність системи та стабільність властивостей при переробці у в'язкотекучому стані.

- Доведено ефективність спільного використання гідрофільного крохмалю та гідрофобного пластифікатора (ЕСО) для формування стабільної надмолекулярної структури ПЛА-композитів, що зумовлює збереження фізико-хімічних і механічних характеристик під час тривалої експлуатації.

- Виявлено вплив композиційного складу на реологічні та термічні властивості матеріалів: зниження в'язкості розплаву, покращення текучості та зменшення енергії активації течії, що сприяє підвищенню перероблюваності при екструзії та 3Д-друці.

- Установлено морфологічні особливості взаємодії компонентів у полілактидних системах за участю крохмалю, ЕСО та карбонату кальцію, що забезпечує посилення міжфазної сумісності та формування більш щільної внутрішньої структури.

- Запропоновано підхід до створення гібридних матеріалів на основі ПЛА-матриці з інфільтрацією термореактивними смолами (епоксидною або поліуретановою), що дозволяє об'єднати механічну міцність і теплостійкість термореактивної фази з технологічністю термопластичної складової та перевагами FDM-друку.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження мають прикладну цінність у контексті вдосконалення матеріалів для FDM 3Д-друку. Обґрунтовано технологічні підходи до створення полілактидних композитів із використанням біосумісних модифікаторів (крохмалю, епоксидованої соєвої оливи, кальцію карбонату), що сприяють покращенню їх оброблюваності та експлуатаційних характеристик.

Запропоновано спосіб виготовлення філаментів та комбінованих виробів з включенням термореактивних смол, що дозволяє зменшити масу конструкцій, підвищити їх жорсткість і довговічність. Розроблено також метод оцінки механічних властивостей на основі аналізу кривих деформації, що може бути застосований для подальшої оптимізації складів матеріалів.

Оцінка змісту дисертації, структура, її завершеність в цілому та оформлення. Дисертація викладена на 219 сторінках і містить вступ, шість основних розділів, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Структура логічно вибудована відповідно до наукових завдань і охоплює всі етапи дослідження – від аналізу джерел до впровадження практичних результатів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження.

Перший розділ присвячений огляду літератури з акцентом на властивості ПЛА, методи його модифікування, роль мінеральних і природних наповнювачів, а також потенціал використання ПЛА-композитів у FDM-друці.

У другому розділі подано опис вихідних матеріалів, досліджено їх морфологічні та функціональні властивості, методи оцінки реологічних, механічних і термічних характеристик.

Третій розділ містить результати експериментів з модифікування ПЛА за допомогою крохмалю, ЕСО та CaCO_3 . Проаналізовано ПТР, в'язкість, термостійкість і сорбційні властивості, а також запропоновано схему виготовлення філаменту.

У четвертому розділі досліджено морфологію, структуру й експлуатаційні характеристики ПЛА-композитів і надрукованих виробів. Встановлено вплив складу і параметрів друку на кристалічність, твердість, пружність і теплостійкість.

П'ятий розділ присвячений аналізу властивостей термореактивних компаундів на основі епоксидної та поліуретанової смол з модифікаторами. Оцінено їхню міцність, твердість та впорядкованість структури.

У шостому розділі описано властивості гібридних матеріалів, сформованих шляхом заповнення 3Д-матриць модифікованими термореактивними компаундами. Обґрунтовано оптимальні режими друку та умови структуроутворення.

Аналіз представлених результатів свідчить про цілісність і логічну завершеність дисертаційного дослідження. Робота вирізняється чіткою

структурою, методичною узгодженістю та аргументованим викладом наукових положень. Тематика дослідження відповідає сучасним тенденціям у галузі переробки вторинної сировини рослинного походження, а сама дисертація спрямована на встановлення закономірностей процесу осушення таких матеріалів.

Сформульовані мета і завдання роботи досягнуті й повною мірою реалізовані відповідно до визначеної наукової програми. Отримані автором висновки ґрунтуються на експериментальних даних і підтверджені результатами, що знайшли відображення у наукових публікаціях.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях.

Основні положення дисертації повністю відображені у 16 друкованих працях, з них 1 стаття у наукових періодичних виданнях іноземних держав що індексовані в міжнародних наукометричних базах даних, 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 розділ монографії, 1 патент на корисну модель.

Апробація. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Академічна доброчесність. Дисертаційна робота виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності. У дослідженні не виявлено фактів недоброчесного використання результатів сторонніх авторів, а також неправомірного запозичення чи маніпулювання даними. Автор коректно посилається на використані літературні джерела, дотримується норм цитування та належно структурує науковий дискурс. Усі експериментальні результати мають ознаки самостійного проведення. Таким чином, робота відповідає нормам етики наукової діяльності, передбаченим чинним законодавством України.

Загальні зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота є змістовною, структуровано побудованою та виконаною на високому науковому рівні. Водночас варто зазначити кілька зауважень:

1. У роботі підкреслюється біодеградабельність ПЛА-композитів проте експериментальних досліджень процесу біорозкладу не подано. Можливо потрібно було подати хоча б описову оцінку біостійкості чи потенційної біодеградації.

2. Незважаючи на вивчення фізико-механічних властивостей модифікованих композитів, відсутній аналіз зміни властивостей під час тривалого зберігання або експлуатації виробів, що особливо актуально для біодеградабельних матеріалів.

3. Чи є ПЛА Ingeo 2500 єдиним можливим варіантом для виготовлення композитів і філаментів для 3D друку? У роботі не обґрунтовано вибір саме такої марки ПЛА і можливо варто було б здійснити порівняльні дослідження наприклад з ПЛА марки Luminy L130, L105, LX175.

4. Вказано, що термооброблення композитів проводилося за температури 80 °C протягом 2 годин, проте не подано, чому саме цей режим обрано, і як він порівнюється з альтернативними. Бажано було б навести пояснення або посилання на літературні джерела чи попередні дослідження. На сторінці 151 зазначено, що зразки додатково витримувалися при температурі 125 °C, тоді як у розділі, присвяченому дослідженням на розтяг і згин, вказано температуру 80 °C. Слід уточнити, чи дійсно проводилася додаткова термообробка за різних температур для різних випробувань, чи йдеться про помилку в тексті.

5. У контексті використання у медичних чи харчових застосуваннях полімерних композитів було б доцільно згадати потенційні ризики вивільнення компонентів з модифікованого ПЛА, особливо для крохмалю, пластифікаторів типу ЕСО.

6. У дисертації не наведено, як саме змінюються властивості композиту залежно від розміру крохмалю чи карбонату кальцію, хоча морфологічні аспекти згадані.

7. У рисунку 3.1 спостерігається невідповідність між умовними позначеннями в легенді та підписами на самому графіку: зокрема, останній композит у переліку позначено як VI, тоді як на графіку йому відповідає позначення IV.

Зазначені зауваження не є принциповими, носять рекомендаційний характер і не впливають на наукову цінність та якість виконаного дослідження.

Підсумковий висновок щодо рівня дисертації та її відповідності вимогам. Представлена дисертаційна робота Кечура Дмитра Ігоровича на тему «Основи технологій одержання полілактидних композитів та виробів з них 3Д друком» є завершеною науковою працею і присвячена вирішенню комплексної науково-практичної проблеми – розробленню технологічних основ створення полілактидних композиційних матеріалів із покращеними функціональними характеристиками, придатними для виготовлення виробів методом FDM 3Д-друку. Дослідження охоплюють повний спектр питань – від вибору модифікаторів і розробки рецептур до аналізу морфологічної структури, термічної стабільності, механічної міцності та технологічної сумісності компонентів, включаючи створення гібридних термопластично-реактопластичних систем.

Актуальність обраної тематики, належний рівень наукової новизни, методологічна обґрунтованість, експериментальне підтвердження і прикладна значущість одержаних результатів засвідчують, що робота відповідає усім критеріям наукової кваліфікаційної праці.

Дисертація виконана відповідно до вимог Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (із змінами), а також Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 року «Порядок присудження ступеня доктора філософії» (із змінами, внесеними постановою КМУ № 762 від 23.07.2022 року).

Вважаю, що автор дисертації Кечур Дмитро Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія.

Рецензент

доцент кафедри хімічної технології переробки пластмас

Національного університету «Львівська політехніка»,

кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник

Наталія СЕМЕНЮК

Підпис к.т.н., с.н.с., доцента кафедри ХТПП

Наталії Семенюк

«ЗАСВІДЧУЮ»:

Вчений секретар

Національного університету

«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ