

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Пушкарьова Дениса Вікторовича
на тему «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з
регульованою теплопровідністю»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні
технології та інженерія»

Актуальність теми дисертації. Актуальність теми дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю» визначається нагальною потребою у створенні функціональних матеріалів нового покоління, здатних ефективно вирішувати задачі теплопереносу в умовах мініатюризації електроніки, підвищення щільності теплових потоків і впровадження автономних систем. Зі зростанням запитів на індивідуалізовані вироби для електронних, телекомунікаційних, енергетичних і оборонних пристроїв, критично зростає необхідність у композитах, що поєднують високу теплопровідність із адаптивністю до технологій цифрового формоутворення.

У контексті переходу промисловості до гнучкого, ресурсоефективного виробництва особливого значення набувають матеріали, придатні до виготовлення методом адитивного виробництва. Саме ці технології дозволяють реалізовувати складну геометрію виробів, регулювати орієнтацію теплових потоків, оптимізувати масу та конструктивні параметри елементів. При цьому використання полімерних матриць на основі ABS та PLA у поєднанні з функціональними наповнювачами відкриває можливість створення матеріалів із керованими теплофізичними властивостями.

Особливої актуальності тематика набуває в умовах воєнного стану, потреби в імпортозаміщенні технічних матеріалів і формуванні внутрішнього ринку високотехнологічної продукції. Практична реалізація результатів дисертації у вигляді готових виробів, апробація технологій на промисловому



обладнанні додатково підтверджує прикладну цінність і своєчасність проведеного дослідження.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича підтверджує їх достовірність, новизну та актуальність у межах сучасного розвитку матеріалознавства і технологій адитивного виробництва. Робота вирізняється цілісною структурою: від формулювання наукової гіпотези та аналітичного огляду до розробки композицій, виготовлення зразків, їх тестування та апробації. В межах експериментальної програми проаналізовано великий масив композиційних матеріалів. Це дало змогу системно дослідити вплив хімічної природи та вмісту наповнювачів, а також технологічних параметрів адитивного виробництва на теплофізичні та механічні властивості композитів.

Наукова новизна роботи полягає у вперше реалізованому підході до варіативного керування теплопровідністю полімерних композитів шляхом комбінації декількох наповнювачів з різними механізмами теплопереносу в умовах адитивного виробництва. Виявлено також синергетичний ефект при поєднанні металевих і вуглецевих наповнювачів, що дозволяє досягти приросту теплопровідності на 40–60% порівняно з мононаповненими аналогами.

Достовірність отриманих результатів підтверджена використанням широкого спектра випробувальних методик. Виконана статистична обробка результатів досліджень, окремі параметри верифіковані шляхом порівняння з референтними зразками та літературними даними. Важливо зазначити, що значна частина досліджень виконана із застосуванням власноруч спеціально адаптованого обладнання.

Таким чином, наукові результати дисертації є обґрунтованими, підтвердженими багатоаспектними експериментами, логічно пов'язаними між собою і такими, що демонструють високий рівень теоретичної опрацювання й інженерної реалізації. Робота містить низку оригінальних наукових положень і

має очевидний потенціал для впровадження у практичні галузі техніки, зокрема в електроніці, приладобудуванні та енергетиці.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Пушкарьова Д.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Хімічні технології та інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Хімічні технології та інженерія».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Пушкарьова Дениса Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Матеріал викладено послідовно та логічно, із чітким дотриманням структури наукової роботи: від постановки мети дослідження до формулювання висновків. Кожен розділ логічно випливає з попереднього, що сприяє цілісному сприйняттю інформації.

Стиль мовлення відповідає вимогам наукового стилю: використано об'єктивну, нейтральну лексику, уникається емоційність та суб'єктивні оцінки. Текст лаконічний, інформативний, з дотриманням норм академічної доброчесності.

Інформація подається доступною мовою, зрозумілою для фахівців відповідної галузі. Разом із тим, автор дотримується загальноприйнятої наукової термінології, що свідчить про професійний рівень викладення та орієнтацію на академічну аудиторію.

Використання ілюстративного матеріалу (таблиць, графіків, схем) додатково підсилює зміст тексту та робить його більш наочним. Обґрунтування гіпотез, аналіз результатів і формулювання висновків виконано чітко та аргументовано.

Загалом, текст відзначається високим рівнем академічної культури, науковою коректністю та стилістичною виваженістю.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 272 сторінок.

У вступі обґрунтовано важливість обраної теми, її значення для науки та практики, наявність невирішених проблем у цій галузі.

У першому розділі дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича здійснено всебічний аналіз сучасного стану досліджень у галузі полімерних композитів з регульованою теплопровідністю, придатних до використання в технологіях адитивного виробництва. Розглянуто особливості полімерних матриць, які найчастіше застосовуються в таких технологіях з урахуванням їх реологічних властивостей, сумісності з наповнювачами та стабільності під час термомеханічної переробки. Особливу увагу приділено функціональним наповнювачам, що здатні забезпечити формування перколяційної теплопровідної структури в полімерній матриці. Розглянуто також вплив параметрів адитивного виробництва на формування теплофізичних і механічних властивостей кінцевих виробів. На основі аналізу літературних джерел визначено основні науково-технічні виклики, що пов'язані з підвищенням теплопровідності без погіршення технологічності переробки, забезпеченням структурної однорідності та стабільності характеристик у процесі експлуатації, що й обумовило постановку цілей і завдань дослідження.

У першому розділі здійснено ґрунтовний аналіз науково-технічних джерел, присвячених розробці полімерних композицій з керованою теплопровідністю, орієнтованих на застосування в адитивному виробництві методом. Узагальнено інформацію щодо полімерних матриць які найчастіше використовуються у цифрових технологіях формоутворення. Розглянуто особливості їх реологічної поведінки, теплопровідності, взаємодії з функціональними наповнювачами.

Детально проаналізовано типи наповнювачів та їх здатність формувати теплопровідні шляхи в полімерній матриці. У результаті проведеного огляду сформульовано основні наукові гіпотези, які покладено в основу подальших експериментальних досліджень.

У другому розділі дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича обґрунтовано вибір полімерних матриць, функціональних наповнювачів і технологій їхнього поєднання для створення композитів з регульованою теплопровідністю, адаптованих до умов адитивного виробництва. Детально охарактеризовано основні полімери, з аналізом їх фізико-хімічних і реологічних властивостей, переваг і обмежень у контексті термічного формоутворення та наповнення. Висвітлено раціональність використання наповнювачів різної природи з урахуванням їх теплопровідності, електропровідності, морфології частинок і взаємодії з полімерною матрицею. Описано процеси компаундування та екструзії філаментів, що надалі використовувались для адитивного виробництва. Наведено характеристику дослідного обладнання, включно з лабораторною екструзійною лінією, прес-формами та FFF-пристроєм. Представлено методики визначення механічних характеристик та теплофізичних параметрів, що забезпечили комплексність і достовірність подальшого аналізу.

У третьому розділі представлено результати комплексного експериментального дослідження полімерних композиційних матеріалів, виготовлених шляхом компаундування та подальшого адитивного виробництва методом FFF. Досліджено вплив типу наповнювача, його вмісту та модифікації полімерів на основні теплофізичні та механічні характеристики: теплопровідність, теплоємність, щільність, міцність і видовження при розриві. Встановлено закономірності зміни властивостей у залежності від природи наповнювача, його масової частки та взаємодії з полімерною матрицею. Особливу увагу приділено впливу параметрів адитивного виробництва на структурну однорідність зразків та ефективність теплопереносу.

У четвертому розділі дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича розглянуто вплив щільності, структурної організації та

комплексного поєднання функціональних наповнювачів на теплофізичні характеристики полімерних композитів, виготовлених за технологією адитивного виробництва методом FFF. Особливу увагу приділено ролі макроструктурних параметрів, насамперед густини та ступеня монолітності, у формуванні ефективної теплопровідної сітки. Проаналізовано, як зміна умов формоутворення впливає на теплопровідність і теплосмність виробів. Проведено порівняльне дослідження властивостей однонаповнених систем з композиціями, що містили комбінації наповнювачів різної природи: електропровідної та діелектричної. Встановлено, що комбіноване використання графіту з двоокисом титану, міддю або ферокарбідом заліза дозволяє досягти синергетичного ефекту та суттєво підвищити теплопровідність. Результати свідчать, що ключовими факторами регулювання теплофізичних властивостей є не лише об'ємна частка функціональних добавок, а й їх морфологічна сумісність, характер взаємодії з матрицею, а також параметри процесу адитивного виробництва.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи наведено приклади практичного впровадження результатів дослідження, що засвідчує прикладну значущість розроблених матеріалів і технологій. Продемонстровано реалізацію двоетапної схеми адитивного виробництва методом FGF з використанням композиційних матеріалів, модифікованих графітом і двоокисом титану, що забезпечило високу теплопровідність без суттєвого зниження механічних характеристик. Як приклад, описано виготовлення корпусу функціонального електронного пристрою, вказано параметри компаундування та адитивного виробництва, а також використане обладнання, включаючи промисловий FGF-комплекс ТОВ «Лемки Роботікс». Окремо зазначено впровадження окремих результатів дисертаційного дослідження в освітній процес на базі кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку періодичних видань, що індексуються наукометричною базою даних Scopus. Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації свідчать про високий рівень теоретичної підготовки, володіння сучасними методами дослідження та глибоке розуміння актуальних проблем у сфері хімічних технологій та інженерії. Тематика публікацій відповідає напрямку дослідження та демонструє поступовий розвиток наукової думки, від постановки проблеми до практичної реалізації результатів.

У публікаціях простежується самостійність викладення матеріалу, аргументованість наукових висновків, коректне посилання на джерела інформації. Автор дотримується загальноприйнятої наукової термінології, чітко формулює мету та завдання досліджень, логічно структурує текст та обґрунтовує результати.

Здобувач дотримується принципів академічної доброчесності, зокрема, коректно використовує джерела та посилання на праці інших дослідників, не виявлено фактів плагіату або самоплагіату, дотримується етичних норм у поданні результатів.

Публікації охоплюють як фахові видання, так і матеріали конференцій, що підтверджує активну наукову діяльність та зацікавленість у професійному зростанні.

Загалом, науковий доробок здобувача характеризується високим рівнем академічної якості та повною відповідністю вимогам до наукових публікацій у вищій освіті та науці. Наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У дисертації недостатня кількісна оцінка морфології інтерфейсу між полімерною матрицею та наповнювачами. У розділах, присвячених

дослідженню сумісності компонентів, робота значною мірою базується на опосередкованих висновках з механічних випробувань і SEM-зображень. Водночас відсутні результати, які могли б підтвердити взаємодію на міжфазовому рівні – зокрема спектроскопічні або мікротомографічні дослідження, що дозволили б точніше оцінити адгезію, хімічну сумісність чи утворення міжфазних шарів.

2. Відсутнє обґрунтування обраної моделі теплопереносу для аналізу експериментальних результатів. У роботі не представлено числового або аналітичного моделювання процесу теплопровідності в шаруватих структурах, що формуються під час адитивного виробництва. Таким чином, не виконано порівняння емпіричних даних із теоретичними передбаченнями класичних моделей (наприклад, моделі ефективного середовища чи перколяційної теорії), що обмежує інтерпретацію результатів.
3. Було б доцільно розширити кількість типів морфології заповнення при адитивному виробництві. Хоча дослідження торкається гіроїдних, лінійних і стільникових структур, не розглянуто більш складні або функціоналізовані варіанти, що могли б значно змінити як теплопровідність, так і міцність зразків. Відсутній також аналіз оптимальної густини заповнення та її впливу на ефективність теплопереносу.
4. Наявні стилістичні нерівномірності: попри загалом високий рівень наукового викладу, окремі підрозділи містять надлишкові повтори, а деякі терміни не пояснено.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пушкарьова Дениса Вікторовича на тему «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю»

виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Пушкарьов Денис Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри хімічного,
полімерного і силікатного
машинобудування
Інженерно-хімічного факультету
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
д.т.н., доц.

 / Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ



«__» _____ 2025 року

